

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Vít Jandásek

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Absolvování individuální odborné praxe

Individual Professional Practice in the Company

Zadání bakalářské práce

Student:

Vít Jandásek

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612R041 Řídicí a informační systémy

Téma:

**Absolvování individuální odborné praxe
Individual Professional Practice in the Company.**

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Student vykoná individuální praxi ve firmě: ATEsystem s.r.o.
2. Struktura závěrečné zprávy:
 - a. Popis odborného zaměření firmy, u které student vykonal odbornou praxi a popis pracovního zařazení studenta.
 - b. Seznam úkolů zadaných studentovi v průběhu odborné praxe s vyjádřením jejich časové náročnosti.
 - c. Zvolený postup řešení zadaných úkolů.
 - d. Teoretické a praktické znalosti a dovednosti získané v průběhu studia uplatněné studentem v průběhu odborné praxe.
 - e. Znalosti či dovednosti scházející studentovi v průběhu odborné praxe.
 - f. Dosažené výsledky v průběhu odborné praxe a její celkové zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

Podle pokynů konzultanta, který vedl odbornou praxi studenta.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Bilík, Ph.D.**


Konzultant bakalářské práce: Ing. Leoš Maršálek

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017


doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární
prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 28. dubna 2017

.....


Chtěl bych poděkovat doc. Petru Bilíkovi za pomoc při vypracovávání bakalářské práce a Ing. Filipu Volnému, jakožto i všem dalším zaměstnancům firmy ATEsystem, s.r.o. za mentoring při vykonávání bakalářské praxe.

Abstrakt

Tato bakalářská práce je závěrečnou zprávou z absolvování individuální odborné praxe ve firmě ATEsystem, s.r.o. Pojednává o úkolech z oblasti strojového vidění zadaných studentovi – instalace průmyslových PC, kontrole proudových zdrojů, testování kamerových sestav a programování v LabVIEW. Popisuje postup práce při instalaci průmyslových PC, při testování čtyř kamerových sestav pro vizuální inspekci různých parametrů, při výstupní kontrole proudových zdrojů a při programování aplikací v LabVIEW pro úpravu parametrů kamery, komunikaci s externím hardware a demonstraci technologie 3D laserové triangulace.

Klíčová slova: odborná praxe, strojové vidění, kamerové sestavy, vizuální inspekce, LabVIEW, průmyslová PC, 3D laserová triangulace

Abstract

This bachelor thesis is a final report about individual professional practice in ATEsystem, s.r.o. company. It treats all the tasks related to machine vision given to the student – industrial PC setup, current source testing, camera setup testing and LabVIEW programming. It gives a description of work on industrial PC installation, on four camera setup tests for visual inspection of various parameters, on current source testing and LabVIEW programming of applications for camera parameters adjustment, for communication with external hardware and for demonstration of 3D laser triangulation.

Key Words: professional practice, machine vision, camera setups, visual inspection, LabVIEW, industrial PC, 3D laser triangulation

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů

Seznam obrázků

Seznam rovnic

1	Popis odborného zaměření firmy, u které student vykonal odbornou praxi a popis pracovního zařazení studenta.	
1.1	Popis odborného zaměření firmy ATEsystem, s.r.o.	
1.2	Popis pracovního zařazení studenta	
1.2.1	Instalace průmyslových PC	
1.2.2	Testování kamerových sestav	
1.2.3	Kontrola proudových zdrojů	
1.2.4	Programování v LabVIEW	
2	Seznam úkolů zadaných studentovi během odborné praxe a zvolený postup řešení.	
2.1	Instalace průmyslových PC	
2.2	Testování kamerových sestav	
2.2.1	Detekce rozsvícených LED na čipu automobilového světlometu	
2.2.2	Detekce mezer nožiček kontaktů	
2.2.3	Detekce svárů plastových krytů automobilových LED světlometů	
2.2.4	Porovnávání kamer pro detekci v IR spektru	
2.3	Výstupní kontrola proudových zdrojů PPZPLS0000	
2.4	Programování v LabVIEW	
2.4.1	Aplikace pro úpravu vyhledávací tabulky (LUT) v kameře	
2.4.2	Knihovna pro komunikaci s DAP pro automobilové světlometry	
2.4.3	3D demo – laserová triangulace	
2.4.3.1	Verze 1	
2.4.3.2	Verze 2	
3	Teoretické a praktické znalosti a dovednosti získané v průběhu studia uplatněné studentem v průběhu odborné praxe	
4	Znalosti či dovednosti scházející studentovi v průběhu odborné praxe	
4.1	Školení – Základy strojového vidění	
5	Dosažené výsledky v průběhu odborné praxe	

Literatura

Přílohy

A Označování kamer Basler

B Nejpoužívanější výpočty

Seznam použitých zkratk a symbolů

ASCII	– American Standard Code for Information Interchange – americký standardní kód pro výměnu informací
CAN	– Controller Area Network – vnitřní komunikační sběrnice pro automobily
cDAQ	– Compact Data Acquisition – kompaktní systém pro sběr dat
cRIO	– Compact Reconfigurable Input/Output – kompaktní rekonfigurovatelný systém na bázi mikrokontroléru
DAP	– diagnostický adaptér
DC	– Direct Current – stejnosměrný proud
DIP	– Dual In-Line Package – standardizovaná rozteč a rozměr pinů integrovaných obvodů
ECU	– Electronic Control Unit – vestavěný mikrokontrolér pro řízení světlometů v automobilu
EEPROM	– Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory – elektronicky mazatelná nevolatilní paměť
ETX	– End of Text – řídicí znak s významem konec textu
FPGA	– Field Programmable Gate Array – programovatelná hradlová pole
GB	– gigabajt
HDR	– High Dynamic Range – vysoký dynamický rozsah
HW	– Hardware
IP	– Internet Protocol – internetový protokol
LIN	– Local Interconnect Network – vnitřní komunikační sběrnice pro automobily
LUT	– Lookup Table – vyhledávací tabulka
IR	– Infrared – infračervený
MAX	– Measurement & Automation Explorer – software od společnosti NI pro konfiguraci systémů pro sběr dat, kamer, atp.
ND	– Neutral Density – neutrálně šedý
NI	– National Instruments
NIR	– Near-Infrared – blízká infračervená oblast světla
NTC	– Negative Temperature Coefficient – termistor s negativním teplotním koeficientem
LabVIEW	– Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
LED	– Light Emitting Diode – světlo vyzařující dioda
PC	– Personal Computer – osobní počítač

RAID	– Redundant Array of Independent Disks – vícenásobné diskové pole nezávislých disků
RT	– Real-Time – reálného času
STX	– Start of Text – řídicí znak s významem začátek textu
SW	– Software
UI	– User Interface – uživatelské rozhraní
USB	– Universal Serial Bus – univerzální sériová sběrnice
VI	– virtuální instrument
VISA	– Virtual Instrument Software Architecture – standard pro komunikaci s přístroji
VBAI	– Vision Builder for Automated Inspection – software od společnosti NI pro zpracování obrazu

Seznam obrázků

1	Příklad kamerové sestavy pro detekci LED
2	Detekce LED - Testovací snímek s 12mm objektivem
3	Detekce LED - Testovací snímek s 35mm objektivem a 5mm distančním kroužkem
4	Snímky nožiček kontaktů
5	Snímky plastových krytů automobilových LED světlometů – prvotní testy
6	Snímky plastových krytů automobilových LED světlometů – problematické detekce
7	Snímky plastových krytů automobilových LED světlometů – finální verze
8	Snímky registračních značek při IR osvětlení - kamera Basler acA2040-55um . . .
9	Snímky registračních značek při IR osvětlení - kamera JAI GO-5000M-USB . . .
10	Snímky registračních značek při IR osvětlení - kamera JAI GO-2400M-PGE . . .
11	Proudový zdroj PPZPLS0000
12	Příklady funkčních závislostí v LUT
13	Vzhled čelního panelu aplikace LUT
14	Blokový diagram aplikace LUT
15	Příklad modifikace snímku pomocí LUT
16	Blokový diagram jedné z mnoha subVI pro komunikaci s DAP
17	Prostorové uspořádání laserové triangulace.
18	Finální HW řešení demonstrační aplikace 3D laserové triangulace
19	Zapojení krokového motoru
20	Čelní panel 3D aplikace
21	Blokový diagram 3D aplikace
22	Vzor pro porovnání v 3D aplikaci

Seznam rovnic

- 1 Ohnisková vzdálenost
- 2 Přesnost kamery

1 Popis odborného zaměření firmy, u které student vykonal odbornou praxi a popis pracovního zařazení studenta.

1.1 Popis odborného zaměření firmy ATEsystem, s.r.o.

Firma **ATEsystem, s.r.o** působí na trhu v oblasti strojového vidění. Byla založena v roce 2013 skupinou několika zkušených odborníků, je tedy poměrně mladou a malou firmou působící na trhu zejména v České a Slovenské republice, ale spolupracuje se společnostmi po celém světě. Její působení se odehrává ve třech základních oblastech.

První oblastí je **prodej komponent pro strojové vidění**. Nabídka firmy zahrnuje široké spektrum produktů pro strojové vidění od nejrozličnějších výrobců, z oblasti kamer se jedná o průmyslové kamery s různým určením, pro různá rozhraní (USB 3.0, GigE Vision, Firewire, Camera Link), s různými parametry – kromě nejběžnějších kamer s plošnými senzory jsou dostupné také kamery řádkové, 3D kamery či mikroskopové kamery. Podobně rozsáhlá je nabídka objektivů – lze si objednat objektivy různých značek s různými parametry a určením dle počtu megapixelů, speciální objektivy pro velké senzory nebo pro řádkové kamery, objektivy modulární, robustní, telecentrické, širokoúhlé, makro či motorizované. Nedílnou součástí každého systému pro vizuální inspekci je osvětlení, k dispozici jsou osvětlovače prstencové, sloupkové, kopulové, čtvercové, maticové, kruhové, bodové, osvětlovače typu „backlight“, „dark field“ a světelné projektory. Pro komunikaci mezi kamerami a PC jsou v nabídce komunikační karty pro různá rozhraní, pro záznam a zpracování obrazu lze vybrat ze sortimentu několika průmyslových PC nebo kompaktních systémů pro strojové vidění i se softwarem. Z doplňkového sortimentu lze vybrat filtry pro objektivy, ochranné kryty pro kamery, držáky pro světla a kamery, napájecí zdroje a kabeláž pro napájení a komunikaci.

Druhou oblastí je **dodávání kompletních systémů pro vizuální inspekci**. Ta zahrnuje návrh a dodávku kompletních systémů pro vizuální inspekci včetně mechanické části (konstrukce pro uchycení kamer a osvětlovačů), hardwarové části (volba vhodných kamer, objektivů, osvětlovačů a dalších důležitých součástí systémů strojového vidění) i softwarové části (obslužné programy pro zachytávání obrazu z kamer, jeho následné zpracování a zobrazování či ukládání, dále aplikace pro komunikaci přes CAN či RS232 s externím HW). Pro tyto systémy jsou vyvíjena v laboratoři elektroniky zařízení (například proudové zdroje).

Třetí oblastí jsou **studie proveditelnosti a testování**, kde je nejvíce využito know-how zaměstnanců v oblasti strojového vidění. Testování se děje buď v režii zákazníka, v takovém případě jsou mu zapůjčeny veškeré potřebné komponenty, nebo přímo ve společnosti ATEsystem, s.r.o., kdy zaměstnanci vytipují pro danou úlohu co nejvhodnější HW a provádějí testy přímo na vzorcích výrobků zákazníka. Ke kamerovým systémům poté poskytují technickou podporu.

1.2 Popis pracovního zařazení studenta

V průběhu bakalářské praxe ve firmě ATEsystem, s.r.o. nebylo mé pracovní zařazení nijak vyhraněné, měl jsem možnost vyzkoušet si více druhů odborné technické práce, která se ve firmě odehrává, jmenovitě

- instalace průmyslových PC
- testování kamerových sestav
- kontrola proudových zdrojů
- programování v LabVIEW

Pro doplnění teoretických znalostí jsem se v prosinci 2016 zúčastnil třídního školení na téma „Základy strojového vidění“. V následujících odstavcích popíši motivaci pro vykonávání úkolů a obecný postup při jejich vypracovávání jednotlivých úkolů, konkrétně jsou zadání úkolů popsány v kapitole 2.

1.2.1 Instalace průmyslových PC

Motivace

Přestože jsou v osobních i průmyslových PC využívány stejné operační systémy, jsou požadavky na jejich provoz v průmyslu a v domácnostech diametrálně odlišné.

Užití v kanceláři, v domácnosti

- úspora energie (spořiče, automatické uspávání)
- množství SW
- tolerance nespolehlivosti
- tolerance ztráty dat

Průmyslové užití

- maximální výkon
- SW pouze pro danou aplikaci
- maximální spolehlivost
- nutnost zálohování dat

Průmyslová PC jsou proto již svou mechanickou konstrukcí uzpůsobeny pro náročnější provoz, mají výkonnější chlazení pro nepřetržitý provoz, jejich konstrukce je pevnější, odolná proti otřesům a vibracím, otvory jsou vybaveny filtry, protože se počítá s provozem v prašném prostředí. Často v nich bývá tzv. RAID, tedy diskové pole, které zapisuje stejná data na dva a více disků, data jsou tak ošetřena proti ztrátě náhodnou poruchou disku (proti náhodnému smazání je však tato metoda neúčinná).

Obecný postup při práci

Mé úkoly spočívaly v provedení jejich prvotní konfigurace, aby počítače mohly během provozu v průmyslu využívat maximální výkon při maximální spolehlivosti, dále v instalaci potřebného SW a v zálohování veškerých dat.

1.2.2 Testování kamerových sestav

Testování kamerových sestav je jeden z prvních kroků při návrhu systému pro vizuální inspekci a nejpodstatnější součástí studií proveditelnosti. Aby mohla být vizuální inspekce proveditelná, je potřeba ověřit, zda je vůbec možno kamerami daný parametr/výrobek detekovat, případně za jakých podmínek je detekce nejjednodušší.

Motivace

- **Návrh HW** – Pro vizuální inspekci je potřeba navrhnout vhodný HW a jeho rozmístění, aby byla vizuální inspekce co nejjednodušejí proveditelná.
- **Potvrzení teoretických předpokladů průběhu inspekce** – Existují teoretické předpoklady, jak by mohla inspekce probíhat (např. pro detekci objektů v noci je vhodné IR osvětlení), které je potřeba ověřit.
- **Skloubení zadané úlohy s požadavky zákazníka** – V některých případech zákazník požaduje pro danou úlohu využití konkrétního typu kamery/objektivu/osvětlovače, který ovšem nemusí být pro danou úlohu vhodný. Proto je potřeba využití daného typu HW potvrdit nebo vyvrátit a podložit (ne)úspěšnými výsledky testování.

Obecný postup při práci

Předpokladem pro úspěšné testování je seznámení se s řešeným problémem a shromáždění informací v dostatečné kvalitě a kvantitě, aby tak byl co nejvíce ulehčen proces analýzy a volby HW a aby se předcházelo případným nejasnostem nebo nutnosti několikanásobné komunikace se zákazníkem či opakovanému testování sestavy z důvodu úpravy podmínek pro inspekci. Důležitá je tak zejména komunikace se zákazníkem, aby byla správně pochopena a uchopena zadaná úloha a aby byly zjištěny veškeré jeho požadavky na výslednou sestavu. Je potřeba zajistit informace o typu vizuální inspekce (např. kontrola kvality, správného osazení, umístění atp.), o vlastnostech výrobků, které mají být kontrolovány (materiál, tvar, barva, povrchová úprava, rozměry), zda se jedná o integraci do stávajícího kamerového systému či bude navržen zcela nový, zda se jedná o integraci do stávajícího stroje a jaké jsou v něm prostorové možnosti, přičemž popis zadání probíhá jak slovně (osobně, telefonicky, e-mailem), tak obrazově (fotografiemi, nákresy). Často tvoří nedílnou součást exkurze do provozu k zákazníkovi, kde je předveden daný proces/stroj/výrobek, kde má vizuální inspekce probíhat (existuje-li již ve fyzické podobě), jsou pořízeny další fotografie místa a výrobku a jsou ověřeny prostorové možnosti pro instalaci kamerového systému.

Testování kamerových sestav jsem většinou rozdělil na několik dílčích úkolů:

1. Analýza daného problému
2. Volba hardware (kamera, objektiv)
3. Volba osvětlovače
4. Testování zvolené sestavy na vzorcích v laboratorních podmínkách
5. Testování zvolené sestavy ve stroji v provozních podmínkách
6. Analýza výsledků testování, případná úprava řešení na základě výsledků

Ad 1. Při analýze zadané úlohy jsem rozmyslel sestavu kamerového systému pro vizuální inspekci – tj. rozmístění jednotlivých prvků v prostoru (kamera + objektiv, osvětlení, konstrukce nutné pro jejich upevnění) – tak, aby bylo dosaženo optimálního využití prostoru za současného dosažení teoreticky nejlepších výsledků. Do úvahy jsem vzal požadavky zákazníka a informace získané při seznámení se s úlohou, tedy dostupný prostor, vlastnosti kontrolovaného výrobku, vlastnosti okolního prostředí, atp. a pokusil jsem se vytipovat případné problémy, které by mohly při inspekci vzniknout např. kvůli vlastnostem okolí (nechtěné odrazy).

Ad 2. V závislosti na každé konkrétní úloze jsem zvolil vhodnou kameru, vybíral jsem zejména vhodný snímač (liniový, plošný, barevný, černobílý), jeho velikost a rozlišení v megapixelech. Neméně důležitou ybla volba komunikačního rozhraní, v současné době naprosto převažuje gigabitový Ethernet (GigE Vision) a USB ve verzi 3.0. Dále jsem volil objektiv, kde je rozhodující především jeho ohnisková vzdálenost, která musí být zvolena tak, aby kontrolovaný objekt optimálně vyplňoval zorné pole kamery. Dalším důležitým parametrem je také jeho světelnost, která udává, jakou část vnikajícího světla je schopen efektivně přenést na snímač, a také jeho rozlišení, které ovlivňuje schopnost rozlišit jemné detaily.

Ad 3. Neméně důležitou je správná volba osvětlovače. Vhodné osvětlení totiž pro vizuální inspekci představuje naprosto klíčovou záležitost. V případě volby nesprávného světla je značně ztíženo či rovnou znemožněno pozdější zpracování obrazu v počítači, naopak s vhodným osvětlením je celá inspekce mnohem snazší. Proměnné při volbě osvětlovače jsou: výkon, barva světla (resp. vlnová délka, na které světlo vyzařuje), polarizace a tvar světla.

Ad 4. Po volbě všech prvků hardware jsem provedl jejich zkušební sestavení. Pro tuto příležitost jsem většinou měl k dispozici vzorky testovaného výrobku přímo od zákazníka. Při testování v laboratorních podmínkách jsem se snažil simulovat okolní podmínky z provozu, zejména prostorové rozvržení inspekce, stálost světelných podmínek či odrazivost okolních ploch. V případě, že vybraný hardware nebyl v kanceláři dostupný (např. se jednalo o velice specifický hardware), nahradil jsem jej pokud možno co nejpodobnějším (např. jiná značka objektivu při stejném ohnisku, jiné rozlišení kamery...), aby nebyla testovací sestava degradována. Pro správné pozicování kamer jsem měl k dispozici speciální regulovatelné stojany (tzv. nohy) nebo jsem sestavil konstrukci z hliníkových profilů (tzv. itemů). Následně jsem danou sestavu zkoušel. Po zapojení osvětlovačů ke zdroji a kamery do PC jsem provedl konfiguraci zachytávání obrazu

z kamery – continuous (video) či single shot (jeden snímek), délka expozice, zvýšení citlivosti snímáče, gamma. Poté, co jsem správně zaostřil a přicloukl i objektiv, předložil jsem před kameru testovací vzorky. Ty byly zpravidla dostupné jak ve verzi správné, která by inspekci měla projít, tak ve verzi chybné, která obsahovala nějakou vadu. Bylo-li vad více druhů, ověřoval jsem inspekci pro všechny, stejně tak jsem testoval více vzorků v případě, že se tvarově lišily. V počítači jsem poté uložil zkušební snímky. V případě, že nesplňovaly požadavky pro pozdější zpracování, např. snímáný objekt nebyl dostatečně zřetelný, celou sestavu jsem upravil (výměna kamery, objektivu, změna prostorového uspořádání) a laboratorní zkoušku jsem provedl znovu. Každou jednotlivou sestavu, stejně jako snímky při ní pořízené, jsem pečlivě zdokumentoval – jednak fotograficky, aby bylo možno rozeznat a později případně opakovat prostorové vztahy mezi objektem, kamerou a světlem, jednak slovně, kdy jsem popsal některé důležité detaily (např. užití polarizačního filtru), vzdálenosti a užitý hardware. Příklad jednoduché kamerové sestavy je uveden na obrázku 1.



Obrázek 1: Příklad kamerové sestavy pro detekci LED

Ad 5. Protože podmínky v laboratoři považujeme za ideální a přes veškerou snahu odlišné od podmínek provozních, měl jsem možnost v další fázi testovat kamerový systém přímo u zákazníka v místě, kde vizuální inspekce bude probíhat. Průběh této fáze je v zásadě podobný, jako při testování v laboratoři. Veškeré části inspekčního systému jsou převezeny k zákazníkovi, zkušebně nainstalovány na místo inspekce (stroj, výrobní linka aj.), následně jsou uloženy zkušební snímky s kontrolovanými výrobky a vše se případně opakuje pro jiné verze sestavy.

Ad 6. V případě, že byly výsledné testovací snímky kontrolovaného objektu považovány za uspokojivé, v některých případech jsem pro objektivní posouzení vhodnosti snímků pro další zpracování sestavil jednoduchou zkušební softwarovou inspekci v programu Vision Builder od firmy National Instruments. Veškeré výsledky jsem konzultoval s kolegy, které jsem upozornil na případná úskalí vizuální inspekce.

Výše popsany proces je ideální, v praxi často docházelo k modifikaci průběhu kvůli různým vlivům (časové okolnosti, dostupnost prvků HW atp.), některé jeho části tak mohly být vynechány, změnilo se jejich pořadí nebo došlo k sloučení či prolnutí jednotlivých bodů.

1.2.3 Kontrola proudových zdrojů

Ve společnosti ATEsystem, s.r.o. jsou vyvíjeny vlastní hardwarové komponenty pro užití do vizuálních inspekcí. Jedním z výsledků vývoje v laboratoři elektroniky jsou proudové zdroje typu PPZPLS0000 určené speciálně pro napájení LED světlometů v automobilové výrobě.

Motivace

- Protože se v současné době jedná o prototypovou sérii, je běžné, že ji doprovází tzv. dětské nemoci. Zároveň jsou ale zdroje z této série testovány přímo v reálném provozu u zákazníka, je tedy nežádoucí, aby docházelo k jejich nefunkčnosti. Je tedy nutno zdroje pečlivě otestovat ještě před tím, než opustí laboratoř.
- Proudové zdroje typu PPZPLS0000 jsou poměrně složitá elektronická zařízení, která kromě dodávky proudu umožňují připojení digitálních vstupů a výstupů, měřících odporů, komunikaci přes Ethernet nebo sériovou linku. Toto vše je řízeno mikrokontrolérem, na kterém běží program uložený na paměti typu EEPROM. Před prvním spuštěním je nutno zdroj tzv. oživit, tedy nahrát do jeho paměti aplikaci, tzv. firmware, která všechny výše zmíněné úlohy zajistí.
- Nedílnou součástí procesu výroby každého zařízení je jeho závěrečná kontrola, při které se ověří zejména funkční a estetická stránka výrobku.

1.2.4 Programování v LabVIEW

Během své odborné praxe ve firmě jsem měl možnost také vypracovávat kompletní aplikace v grafickém programovacím jazyce LabVIEW nebo se podílet na jejich vývoji alespoň částečně. Programování v grafickém jazyce se nijak neliší od běžnějšího textového programování. Zahrnuje tyto fáze:

1. Popis funkce aplikace
2. Návrh architektury a algoritmů aplikace
3. Implementace v grafickém programovacím jazyce
4. Ladění a testování

Ad 1. První fází psaní aplikace je zjištění podrobných informací o požadavcích na její funkci. V případě LabVIEW se dá zjednodušeně říci, že je definován vzhled čelního panelu - jsou určeny požadované ovládací a indikační prvky a jejich funkce.

Ad 2. Veškeré informace získané v prvním kroku jsem následně pečlivě analyzoval a na základě toho zvolil vhodnou architekturu aplikace. Jedná-li se například o aplikaci, která má vykonávat několik úloh současně, je vhodné implementovat více paralelních smyček, jedná-li se o aplikaci reagující pouze na vstup uživatele, implementoval událostní strukturu atp. Na výběr

správné architektury jsem kladl velký důraz, protože zásadním způsobem ovlivňuje funkčnost aplikace. V případě LabVIEW lze tuto fázi označit jako výběr vzhledu blokového diagramu. [1]

Ad 3. Poté, co jsem si ujasnil princip a funkci aplikace, převedl jsem zadání kódováním do samotného programu. Kladl jsem důraz na přehlednost, modularitu a dokumentaci kódu.

Ad 4. Na závěr jsem aplikaci podrobil testování, během kterého jsem se zaměřil zejména na dvě oblasti – zda aplikace podává dobré výsledky, a zda je podává rychle, efektivně a přehledně. Při testování také jsem odchytil chyby v kódu (tzv. ladění).

2 Seznam úkolů zadaných studentovi během odborné praxe a zvolený postup řešení.

2.1 Instalace průmyslových PC

Časová náročnost

1 den

Mým úkolem byla počáteční instalace a konfigurace průmyslových PC před jejich předáním zákazníkovi. Ty spočívaly v posloupnosti několika kroků, jejichž cílem bylo vhodné nastavení operačního systému pro průmyslový provoz, záloha systému a instalace programů, které budou později využity při provozu.

- Záloha čistého systému – Hned na počátku, ještě před zahájením konfigurace a instalace, jsem provedl zálohu celého operačního systému. Tato záloha by mohla být využita například při dalších krocích, kdyby se nezdařila instalace programů a bylo by potřeba ji zahájit znovu nebo později v provozu, když by se přistoupilo ke změně programů, které by měly na PC běžet, místo jejich odinstalace by se tak efektivněji obnovil celý operační systém.
- Konfigurace systému – Operační systém Windows je implicitně nastaven pro domácí či kancelářské použití. Pro lepší přizpůsobení průmyslovým podmínkám jsem optimalizoval operační systém pro výkon, nastavil klasické grafické rozhraní místo výchozího „Aero“, vypnul jsem spořič, automatický přechod do režimu spánku, provedl jsem manuálně aktualizaci systému a následně zakázal jejich automatickou instalaci, vypnul jsem firewall a oznámení operačního systému.
- Instalace programů – PC byla určena pro vizuální inspekci, proto vyžadovala instalaci LabVIEW a doplňkových součástí pro získávání a zpracování obrazu od National Instruments. Všechny programy jsem aktivoval a vyzkoušel jejich správný běh.
- Fotografie PC – Pro jasnou identifikaci a pro doplnění dokumentace k PC jsem pořídil fotografii štítku se sériovým číslem a rozmístění zásuvných modulů uvnitř počítače.
- Ověření konfigurace a spolehlivosti systému – Za pomoci speciálního software jsem vygeneroval report nainstalovaného software, hardware a pro ověření spolehlivosti jsem provedl tzv. „zahoření“ umělým vytížením procesoru na 100% po dobu několika hodin.
- Záloha kompletně nainstalovaného systému – Po dokončení instalace veškerých programů jsem vymazal veškeré dočasné soubory a provedl jsem opětovně zálohu operačního systému, již kompletně nakonfigurovaného a doinstalovaného. PC s operačním systémem Windows se kvůli různým vlivům během provozu postupně zpomalují, tato záloha by tak mohla být využita pro obnovu systému do výchozího stavu s již nainstalovanými programy.

2.2 Testování kamerových sestav

2.2.1 Detekce rozsvícených LED na čipu automobilového světlometu

Časová náročnost

1 den

Zadání

Detekujte LED na čipu automobilového světlometu ze vzdálenosti cca 15 cm tak, aby nebyly přesvětlené a aby byly od sebe jednotlivé LED rozeznatelné.

Analýza

Jednalo se o poměrně jednoduchou úlohu, u které nebylo nutno nějak zvlášť rozmyslet sestavu. Jako potenciální zdroj problémů jsem identifikoval silný jas LED v rozsvíceném stavu.

Volba hardware a osvětlovače

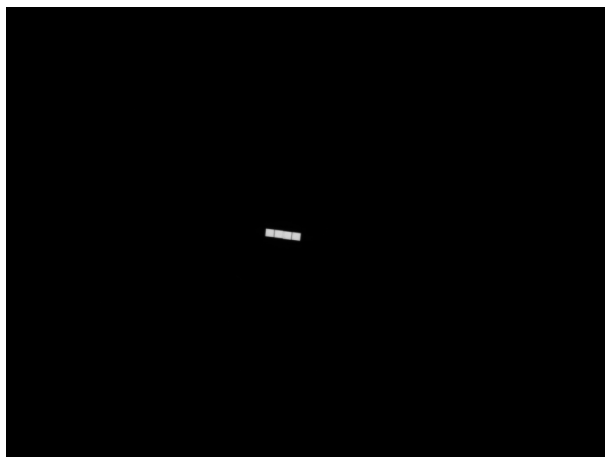
Zvolil jsem kameru Basler, typu acA2500-14gm (viz Příloha A – Označování kamer Basler). Jedná se o často využívanou kameru s výhodnou cenou a dobrými parametry (velký CMOS senzor, dostačující snímková frekvence). Důležité bylo zvolit CMOS snímač, který na rozdíl od snímače typu CCD netrpí tzv. přeléváním náboje do sousedních obrazových bodů při velice ostrém světle, což by mohlo při sledování rozsvícených LED nastat. Dané rozlišení jsem zvolil pro spolehlivé detekování mezer mezi jednotlivými LED. Monochromatický snímač je pro danou aplikaci výhodný, protože při této úloze není důležité rozlišovat barvy, ty by naopak mohly vnášet do měření nepřesnosti (aberrace). Komunikační rozhraní při testech nehraje důležitou roli, daná kamera byla k dispozici pouze ve verzi pro Ethernet.

Objektivy jsem zvolil tři, s různou ohniskovou vzdáleností, jednalo se o objektivy Computar 12, 25 a 35 mm. Z nich jsem vybral vhodného kandidáta dle zorného pole (viz rovnice 1 a 2) a schopnosti přesvědčivě zobrazit a rozlišit jednotlivé LED.

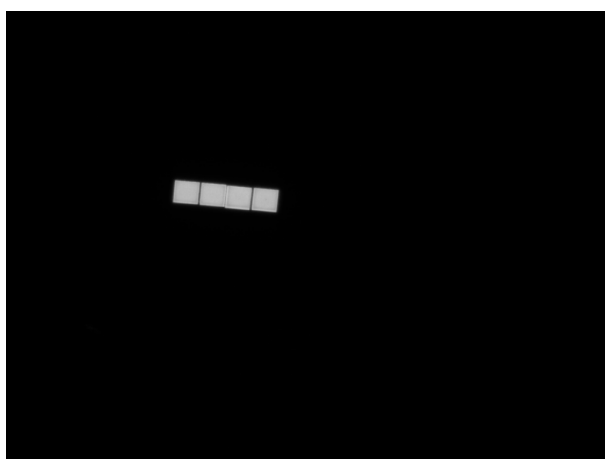
Dodatečné osvětlení vzhledem k charakteru úlohy nebylo nutné, naopak bylo potřeba snížit jas z LED pomocí neutrálně šedých filtrů. Experimentováním jsem určil užití dvou 1000x ND filtrů.

Testování v laboratoři

Pro testování v laboratoři jsem zvolil toto rozmístění: kamera sleduje ze vzdálenosti cca 15 cm od konce objektivu z mírného úhlu čip s LED, který je umístěn na masivním hliníkovém chladiči. Experimentováním jsem určil užití dvou 1000x ND filtrů, což při objektivu zacloněném na F7 odpovídá době expozice 300 ms. Postupným testováním jsem vyzkoušel všechny tři z výše zmíněných objektivů, jako nejvhodnější se nakonec jevil 35mm objektiv doplněný o 5mm distanční kroužek, aby byl schopen zaostřit na krátkou vzdálenost. Při kratších ohniscích totiž LED zabíraly příliš malou část zorného pole kamery, navíc se u nich projevilo také nestejně rozložení LED na čipu, kdy měly dvě sousední LED na některých čípech tendenci splývat, viz obrázek 2. Tento problém byl uspokojivě eliminován právě delším ohniskem objektivu, viz obrázek 3.



Obrázek 2: Detekce LED - Testovací snímek s 12mm objektivem



Obrázek 3: Detekce LED - Testovací snímek s 35mm objektivem a 5mm distančním kroužkem

Výsledná sestava

- Kamera Basler acA2500-14gm
- Objektiv Computar 35mm
- Mezikroužek 5 mm
- 2x ND filtr Schneider 1000X

Vzdálenost LED od středu objektivu cca 170 mm, clonové číslo F7, doba expozice 300 ms.

2.2.2 Detekce mezer nožiček kontaktů

Časová náročnost

1 den

Zadání

Zobrazte na snímku mezeru mezi dvěma nožičkami kontaktů pro rotory motorů s co největším kontrastem a přesností na desetiny milimetrů. V současnosti je na tuto úlohu užito zadní světlo („backlight“), které ovšem nevyhovuje. Doplňkovou úlohou je kontrola nápisu vyraženého na kontaktech.

Analýza

Pro úlohy podobného typu, tedy měření vnějších rozměrů objektu, je velice výhodné využití světla typu „backlight“, tj. zadního světla, které prosvítí veškeré okolí objektu, zatímco samotný měřený objekt zůstane tmavý, čímž jsou rozměry objektu díky velkému kontrastu snadno detekovatelné. Právě toto osvětlení bylo u dané úlohy již využito, ale ukázalo se jako nevyhovující. Důvodem byl fakt, že kontakty projíždějí výrobní linkou před kamerou v dlouhé nepřerušené řadě a vlivem vibrací a různých nepřesností se nenacházejí vždy kolmo k objektivu kamery, mezeru tak zacloní zadní část kontaktu, následně je měřen nesprávný rozměr.

Proto jsem se při úloze rozhodl využít přesně opačného principu – zamýšlel jsem ponechat tmavé pozadí a vhodným osvětlením zvýraznit pouze přední část kontaktu, která by byla světlá. Kontrast by tak byl inverzní oproti původnímu řešení úlohy.

Volba hardware

Pro tuto úlohu je velice vhodná monochromatická kamera, důležitá je přesnost (požadována řádově v desetinách milimetru), tedy její rozlišení, aby byla mezeru detekovatelná s co nejmenší odchylkou. Proto jsem zvolil osvědčenou kameru Basler acA2500-14gm. Ohniskovou vzdálenost objektivu jsem zvolil 25 mm tak, aby objekt optimálně vyplnil zorné pole kamery z dané vzdálenosti (omezení dané strojem cca $3 \div 20$ cm). Aby byl objektiv schopen zaostřit na tak krátkou vzdálenost, doplnil jsem jej o 5 mm distanční kroužek.

Volba osvětlení

Pro osvětlení přední části měřeného objektu jsem plánoval vyzkoušet tři druhy osvětlení – „dark field“, které svítí na objekt pod velice ostrým úhlem; koaxiální, které osvětluje objekt rovnoběžnými paprsky kolmo na jeho povrch a bodový osvětlovač, který za pomoci vlastního objektivu ostří paprsky na velice malou plochu.

Testování v laboratoři

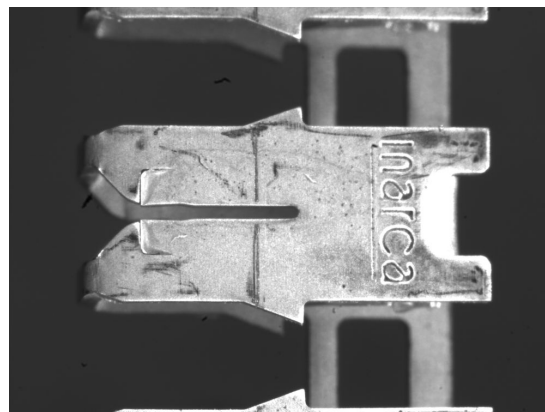
Nejprve jsem otestoval sestavu se světlem typu „dark field“. Osvětlovače tohoto typu musí být umístěny velmi blízko snímaného objektu, což by pravděpodobně narazilo na prostorové omezení ve stroji. Problematické se ukázalo též nechtěné nasvícení zadní strany kontaktu, kvůli čemuž nebyl kontrast v mezeře tak velký, viz obrázek 4a.

Dále jsem odzkoušel sestavu s koaxiálním světlem. Ukázal se zcela stejný problém, jako u předchozího testu a to nasvícení zadní části kontaktu a následné snížení kontrastu, viz obrázek 4b.

Poslední a nejúspěšnější byl test s bodovým osvětlovačem s vlastním objektivem, který svůj světelný výkon soustředí na velmi malou plochu. Světlo jsem zaměřil co nejpřesněji na přední část kontaktu pod vhodným úhlem tak, aby nedocházelo k osvětlení i zadní části kontaktu, výsledek byl tedy nejpřesvědčivější, viz obrázek 4c a 4d. Bohužel ani při jedné sestavě nebylo spolehlivě detekovatelné vyražené písmenné označení na kontaktech.



(a) Testovací snímek s osvětlovačem „dark field“



(b) Testovací snímek s koaxiálním osvětlovačem



(c) Testovací snímek s bodovým osvětlovačem



(d) Rozmístění sestavy s bodovým osvětlovačem

Obrázek 4: Snímky nožiček kontaktů

2.2.3 Detekce svárů plastových krytů automobilových LED světlometů

Časová náročnost

5 dní

Zadání

Detekujte laserové sváry na plastových krytech automobilových světlometů tak, aby bylo možno rozeznat přítomnost a tvar sváru a šířku mezery mezi plastovým krytem a čočkou. Vše je integrováno do již navrženého stroje, proto je minimální vzdálenost od objektu při inspekci cca 30 cm.

Analýza

Tato úloha se mi od počátku jevila jako problematická hned z několika důvodů. Prvním byla integrace do již stávajícího stroje, který ovšem s požadavky vizuální inspekce příliš nepočítal a tak bylo nutno veškerý HW umístit do vzdálenosti alespoň 30 cm. Dříve, kdy ještě nebyl znám stroj pro svařování krytů, již proběhly testy s dómovým osvětlením, jejichž výsledky byly téměř ideální. Tento typ osvětlovačů ovšem vyžaduje vzdálenost maximálně v řádech jednotek centimetrů od kontrolovaného objektu, proto v navrženém stroji již nebylo použitelné. Druhým byla kontrola hned dvou parametrů zároveň, přičemž osvětlení pro kontrolu jednoho by mohlo ovlivňovat detekci toho druhého. Třetím byla univerzálnost celé úlohy - stejnou sestavou měly být kontrolovány tvarově, rozměrově i materiálově odlišné kryty. Všechny tyto skutečnosti celou inspekci značně znesnadňovaly.

Obě měření jsem se rozhodl postavit na principu přesvícení obrazu, aby vynikl kontrast mezery/svaru oproti zbytku lesklého povrchu krytu světlometu.

Volba kamery a objektivu

Pro tuto inspekci opět plně postačovala monochromatická kamera, proto jsem zvolil osvědčenou kameru Basler acA2500-14gm. Objektiv jsem experimentováním zvolil tak, aby jednotlivé kryty světlometů optimálně vyplňovaly zorné pole kamery ve vzdálenosti 30 cm, toto nejlépe splňoval objektiv s ohniskovou vzdáleností 16 mm.

Volba osvětlovače

Umístění osvětlovače a jeho tvar společně s umístěním kamery bylo největší proměnnou celé inspekce. Potřeboval jsem co nejhomogennější osvětlení, postupně jsem proto prozkoušel světlo plošné a sloupcové v různých umístěních vůči kameře a kontrolovanému objektu.

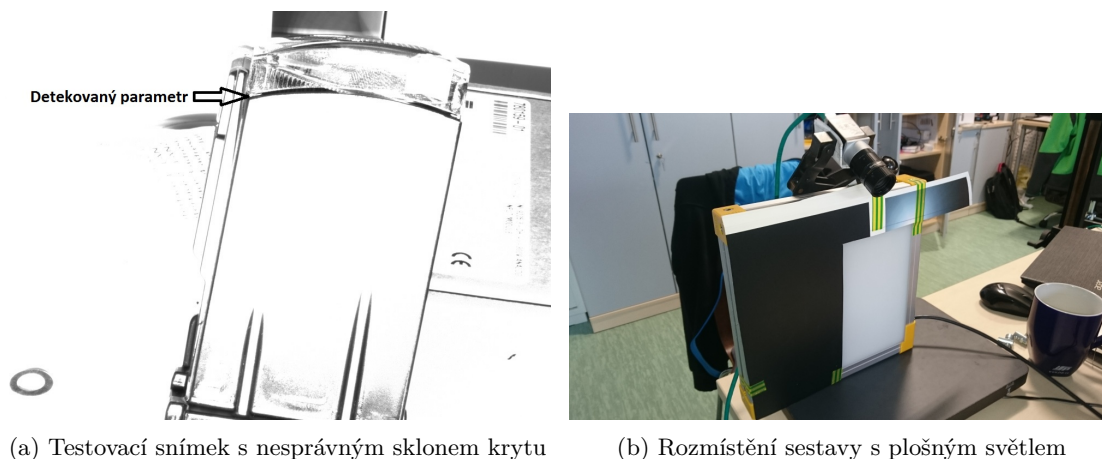
Testování v laboratorních podmínkách

Testování v laboratorních podmínkách bylo nesnadné zejména z důvodu simulace prostředí stroje, ve kterém daná inspekce měla později probíhat. Vnitřní část stroje totiž byla značně členitá, z hliníku a tedy se specifickou odrazivostí, což ještě více komplikovalo již tak poměrně náročnou inspekci.

Při prvním testu byl kryt LED světlometu nakloněn tak, aby se světlo ze sloupcového osvětlovače o výkonu 80 W odráželo od přední plochy krytu do nad osvětlovačem umístěné kamery. Přední plocha krytu tak byla díky odlesku přesvětlená, zatímco mezera mezi krytem a čočkou

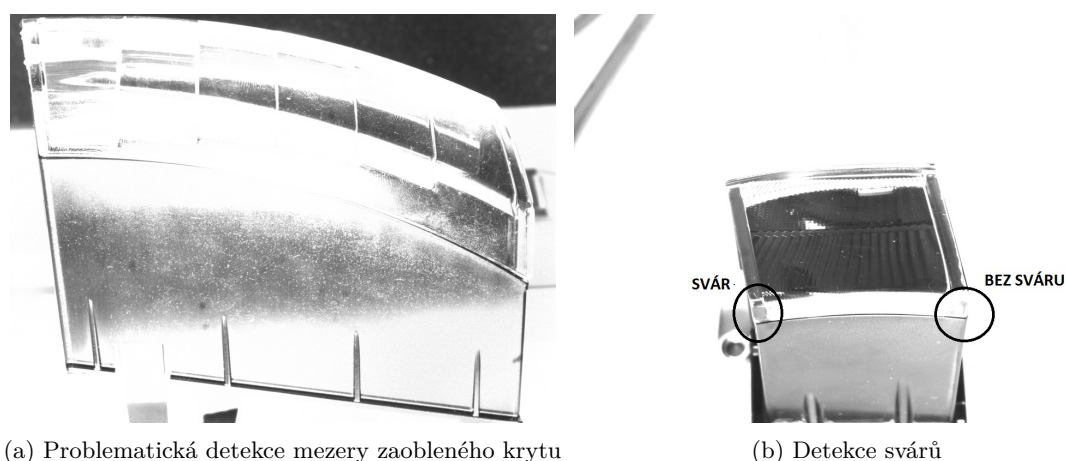
tvořila výrazný kontrast, zároveň nebyl příliš zkreslená perspektivou, protože pohled kamery byl čelní. Bohužel takovéto umístění krytu nebylo v navrženém stroji možné. Problémem také zůstávala detekce svaru, viz obrázek 5a.

Při druhém testu tak byl užit plošný osvětlovač o maximálním rozměru, který ještě byl akceptovatelný ve stroji, tedy cca 10 x 17 cm (šířka x výška, obrázek 5b). Nad ním byla ve výšce cca 25 cm od podložky umístěna kamera. Výsledky z této sestavy byly velice podobné, jako z předchozí, a to vše při rozmístění akceptovatelném pro umístění ve stroji. Problematické zůstaly spodní části větších krytů a stejně tak sváry, viz obrázek 6a.



Obrázek 5: Snímky plastových krytů automobilových LED světlometů – prvotní testy

Při dalším testování jsem se zaměřil na doposud opomíjené svary. Experimentálně jsem zjistil, že nejlépe proběhne jejich detekce při umístění kamery z nadhledu při stejném plošném osvětlení jako u kontroly mezery. Laserovým svařením se totiž místo svaru stane abrazivním a změní tak svou odrazivost, čehož lze vhodně využít pro jeho detekci, viz obrázek 6b.



Obrázek 6: Snímky plastových krytů automobilových LED světlometů – problematické detekce

Dané testy byly ještě několikrát opakovány s drobnými obměnami, ale výsledky z nich byly v zásadě shodné se dvěma výše zmíněnými. Bylo tak rozhodnuto, že pro kontrolování svárů a mezery bude nutno použít dvě kamery, při současné kontrole obou stran krytu založeného ve stroji bude potřeba užít 4 kusů kamer.

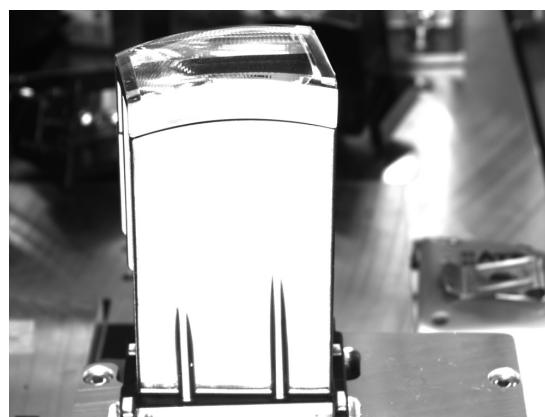
V návaznosti na níže zmíněné testování v provozu přímo u zákazníka byly vyzkoušeny ještě další alternativy a to konkrétně dvou horizontálně či vertikálně umístěných sloupcových světel (toto nasvícení se ukázalo jako neuspokojivé) a plošného světla s doplňkovým nasvícením pro detekci mezer problematických velkých krytů. Výsledky při tomto uspořádání se ukázaly jako nejspolehlivější, viz obrázek 7a

Testování v provozních podmínkách

Po prvotním testování, ujasnění užitého hardware a jeho umístění se konala služební cesta k zákazníkovi do provozu. Vzhledem k tomu, že se jednalo o nově vznikající linku, nebylo problémem provést testování přímo ve stroji. Přestože podmínky ve stroji byly poměrně odlišné od laboratoře, zvolená sestava podávala stejné výsledky jako v laboratoři, viz obrázek 7b. Problémem se ukázalo umístění horní kamery pro kontrolu svarů, která by vadila obsluze při zakládání přípravku pro usazení krytu světla. Proto byla horní kamera posunuta výše, do vzdálenosti cca 55 cm od kontrolovaného objektu, přičemž byl užit objektiv s ohniskovou vzdáleností 25 mm, aby bylo zachováno optimální vyplnění zorného pole.



(a) Testovací snímek z finální sestavy s nasvícenou mezerou



(b) Testovací snímek ze stroje

Obrázek 7: Snímky plastových krytů automobilových LED světlometů – finální verze

Druhým problémem byla detekce mezery u největšího krytu světlometu z důvodu nedokonalého nasvícení. Tento problém se nepodařilo uspokojivě během testování v provozu vyřešit, bylo nutno se mu dále věnovat v laboratoři (viz výše).

Výsledná sestava

Přes náročnost této úlohy byla nakonec nalezena vhodná sestava pro kontrolu všech zadaných parametrů. Jelikož je potřeba kontrolovat obě strany krytů, které jsou v základním přípravku neotočné, je celá sestava zdvojená, umístěna zrcadlově naproti sobě.

- 4x kamera Basler acA2500-14gm
- 2x objektiv Computar 16 mm pro detekci mezer
- 2x objektiv Computar 25 mm pro detekci svarů
- 2x plošný LED osvětlovač o rozměrech cca 10 x 20 cm
- 2x doplňkový osvětlovač o rozměrech cca 5 x 10 cm

Vzdálenost krytu od středu objektivu pro detekci mezery cca 30 cm, od středu objektivu pro detekci svarů cca 55 cm.

2.2.4 Porovnávání kamer pro detekci v IR spektru

Časová náročnost

1 den

Zadání

Pro využití v dopravní aplikaci je potřeba snímat jak registrační značku vozidla, tak samotné vozidlo a počet jeho náprav, to vše při pohybu vozidla i za špatných světelných podmínek (v noci). Porovnejte čipy několika kamer, pokuste se nastavením parametrů kamery docílit nejlepšího výsledku.

Analýza

Největší výzvou tohoto zadání byl požadavek na současnou detekci registrační značky a počtu náprav vozidla. To představuje v noci značný problém, protože při využití dodatečného IR přísvitů se značka vlivem reflexní vrstvy „rozsvítí“ a přesevětlí. Pro eliminaci tohoto jevu lze přiclonit objektiv či zkrátit dobu expozice, čímž by se ale stal nerozpoznatelný počet náprav vozidla. Vše navíc komplikuje fakt, že vozidlo je snímáno v pohybu, což umožňuje využití expozičních časů pouze v řádu jednotek milisekund, aby nedošlo k rozmazání obrazu.

Volba kamery a osvětlení

Kamera pro tuto aplikaci by měla mít několik klíčových vlastností:

- Velký čip s nepříliš vysokým rozlišením, aby jednotlivé pixely byly co největší a mohly zachytávat co nejvíce světla.
- Nízký šum v obraze (který je mimo jiné dán kvalitou čipu, velikostí pixelů a chlazením kamery), aby nedocházelo ke ztrátě obrazové informace v šumu při špatných světelných podmínkách.

- Velký dynamický rozsah (poměr nejvyšší a nejnižší intenzity zachycovaného obrazu, kdy nejvyšší intenzity jsou v případě 8bitové kamery vykreslovány jako bod s hodnotou nižší než 255 a nejnižší intenzity s hodnotou vyšší než 0) což umožňuje získat maximální množství obrazové informace při špatných světelných podmínkách.
- Monochromaticnost
- Citlivost v IR spektru
- Výhodou je režim HDR, který je realizován například tak, že je v krátkém sledu po sobě realizováno více snímků s různou expoziční dobou, které jsou následně sloučeny v jeden snímek s vysokým dynamickým rozsahem za pomoci algoritmu implementovaného na FPGA.

Z dostupných kamer jsem proto po konzultaci s kolegou vybral od výrobce Basler kameru typu acA2040-55um a dvě kamery od výrobce JAI, typu GO-2400M-PGE a GO-5000M-USB. Pro nasvětlení jsem zvolil sloupcové IR světlo Effilux o výkonu 40 W. Pro eliminaci ostatního světelného spektra jsem na objektiv umístil filtr, který propouští jen vlnové délky větší než 820 nm. Objektiv byl zadán Schneider CM120 BK15 Compact.

Testování v laboratorních podmínkách

Protože se zadané podmínky v laboratoři těžko simulují, snažil jsem se jim co nejvíce přiblížit. Jako snímáný objekt jsem využil skutečnou registrační značku vozidla, kolem které jsem rozmístil několik tmavých objektů s drobnými detaily (molitanové odřezky, klávesnice). Celou snímanou scénu jsem umístil pod stůl v zatemněné místnosti, test jsem navíc provedl až po setmění, abych co nejvíce potlačil parazitní vlivy IR spektra slunečního záření. Abych byl schopen co nejlépe porovnat jednotlivé kamery, nastavoval jsem jejich parametry na stejné (nebo podobné, dle možností kamer) hodnoty. Zvolil jsem stejný objektiv, konstantní clonové číslo objektivu F3, expoziční časy v rozsahu $500 \div 2000 \mu\text{s}$, gain (tedy zesílení signálu z čipu v kameře) $0 \div 18$ a gammu (nelineární korekce rozložení jasů ve snímku) z intervalu $0,3 \div 0,7$. Pro kameru JAI GO-5000M-USB jsem vyzkoušel i HDR režim.

Akceptovatelná hodnota doby expozice z hlediska dostatečného jasu činila $1000 \mu\text{s}$, stejně tak byly akceptovatelné i vyšší hodnoty zesílení, které sice zapříčinily částečné zašumění obrazu, což ale pro danou aplikaci v malé míře nebylo na závadu. Nejlepší výsledky podávala kamera Basler, naopak kamera JAI s aktivovaným HDR režimem vytvářela z neznámého důvodu podivné zašednutí části obrazu. Nejlepší snímek s nejlépe rozeznatelnými tmavými detaily a nepřesvětleným obrazem registrační značky byl pořízen kamerou Basler (expoziční čas $1000 \mu\text{s}$, gain 0 a gamma 0,3). Nicméně, u této úlohy je obzvláště důležité opětovně zdůraznit, že veškeré laboratorní závěry jsou pouze orientační a je tedy nutné otestování v provozu, které může přinést odlišné výsledky.

První dva snímky pochází z kamery Basler acA2040-55um, obrázek 8a (expozice $1000 \mu\text{s}$, gain 0, gamma 0,3) ukazuje snímek s nejlepším zobrazením všech detailů, registrační značka není přesvícená a zároveň je velice dobře čitelná i většina detailů v tmavých částech obrazu.

Obrázek 8b (expozice $2000\ \mu\text{s}$, gain 18, gamma 0,5) obsahuje detaily v tmavých částech obrazu, ale registrační značka je značně přesvícena, její číslice se lesknou.



(a) Snímek s nejlepším zobrazením všech detailů (b) Příklad snímku s přesvícenou registrační značkou

Obrázek 8: Snímky registračních značek při IR osvětlení - kamera Basler acA2040-55um

Další dva snímky pocházejí z JAI GO-5000M-USB, obrázek 9a (expozice $500\ \mu\text{s}$, gain 5, gamma 0,6, HDR mód 4) ukazuje zašednutí obrazu při aktivovaném HDR režimu. Obrázek 9b (expozice $1000\ \mu\text{s}$, gain 1, gamma 0,45) je nejlepší snímek z dané kamery, registrační značka je ovšem příliš světlá, tmavé části nečitelné a je patrná i vinětace (ztmavení okrajů) vlivem nevhodného objektivu.



(a) Příklad zašednutí obrazu v HDR módu (b) Snímek s nejlepším zobrazením z dané kamery

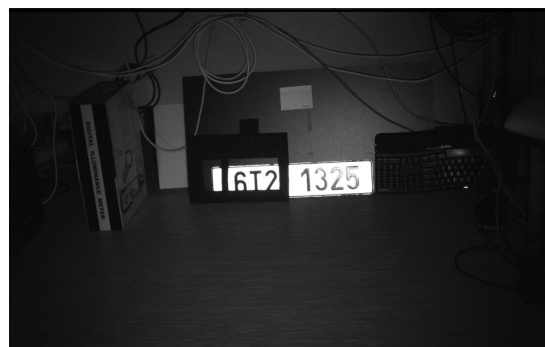
Obrázek 9: Snímky registračních značek při IR osvětlení - kamera JAI GO-5000M-USB

Poslední dvojice snímků pochází z kamery JAI GO-2400M-PGE, obrázek 10a (expozice $1000\ \mu\text{s}$, gain 1, gamma 0,6) ukazuje situaci s vhodně nasvícenou registrační značkou, ale tmavé okolí nenese žádnou informaci, obrázek 10b (expozice $1000\ \mu\text{s}$, gain 22, gamma 0,6) ukazuje nejlepší snímek z dané kamery.

Z obrázků jsou patrné také rozdíly v poměru stran a velikosti snímačů kamer a v jejich dynamickém rozsahu.



(a) Příklad snímku s tmavým okolím



(b) Snímek s nejlepším zobrazením z dané kamery

Obrázek 10: Snímky registračních značek při IR osvětlení - kamera JAI GO-2400M-PGE

2.3 Výstupní kontrola proudových zdrojů PPZPLS0000

Časová náročnost

5 dny

Popis zdroje

Firma ATEsystem, s.r.o. se mimo jiné zabývá i vývojem elektroniky pro strojové vidění. V souvislosti s rozvojem polovodičů je osvětlení v současné době majoritně realizováno za pomoci svítidel s LED, která ke své správné funkci vyžadují zdroj elektrické energie, konkrétně zdroj konstantního proudu. Odborníci v laboratoři elektroniky společnosti ATEsystem, s.r.o. započali vývoj vlastního proudového zdroje, který by mohl sloužit pro napájení a testování LED modulů, které v sobě nemají elektroniku pro regulaci proudu. Vznikl tak proudový zdroj typu PPZPLS0000 (viz obrázek 11), který pracuje na napětí 24 V DC, je schopen dodávat výstupní proud až 2 A a výstupní napětí až 50 V DC. Výstupní proud je regulován lineárně, nikoliv v režimu spínání, což sice znamená větší množství ztrátového tepla, ale zabraňuje kolísání jasu LED při optických testech. Kromě regulace umožňuje i měření výstupního proudu a napětí, nastavení limitů výstupu, měření termistoru NTC a odporu a ovládání pomocí digitálních vstupů a výstupů. Firmware tohoto zdroje je nahrán na programovatelné paměti typu EEPROM. Jeho ovládání je realizováno přes Ethernet nebo RS232 z obslužné LabVIEW aplikace. [2]



Obrázek 11: Proudový zdroj PPZPLS0000

Průběh kontroly

Protože je potřeba ověřit veškerou funkčnost a kvalitativní nároky, navíc se jedná o ověřovací sérii proudových zdrojů, je součástí výroby každého výrobku výstupní kontrola. Tu jsem u každého zdroje započal vizuální kontrolou desky plošných spojů, kde jsem se zaměřil na vzhled a čistotu pájených spojů. Dále jsem zdroj oživil nahráním firmware do paměti EEPROM za pomoci

externího programovacího zařízení. Od tohoto okamžiku se zdrojem bylo možno komunikovat po Ethernetu. Zdroji jsem nastavil statickou IP adresu, aby při každém spuštění nebyla zdroji přidělena jiná adresa. Ze speciální obslužné aplikace v LabVIEW jsem povolil proudový výstup a následně porovnal nastavenou hodnotu proudu s hodnotou proudu a napětí zdrojem měřenou. Ověřil jsem, zda je výstup možno opakovaně povolit a zakázat, otestoval jsem detekci obou digitálních vstupů, funkci obou digitálních výstupů, korektní měření kódovacího odporu, NTC a vnitřní teploty zdroje. Nakonec jsem provedl měření voltampérové charakteristiky zdroje, kde jsem porovnával zdrojem měřené výstupní napětí a proud s napětím a proudem měřeným etalony – kalibrovanými měřicími přístroji. Zde jsem porovnával přesnost nastavení výstupu s přesností z katalogového listu. Jestliže zdroj vykazoval v nějaké části chybné chování, byl nefunkční nebo nedosahoval požadované přesnosti, zdroj jsem odložil a do poznámky zapsal důvod vyloučení z kontroly. Jestliže zdroj nevykazoval žádné problémy, provedl jsem jeho závěrečné mechanické sestavení a zakrytování.

2.4 Programování v LabVIEW

2.4.1 Aplikace pro úpravu vyhledávací tabulky (LUT) v kameře

Časová náročnost

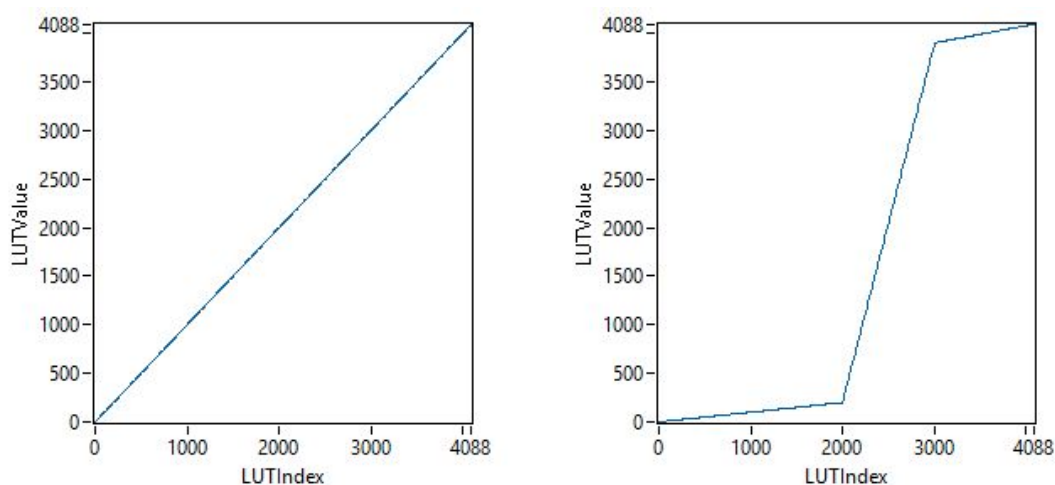
3 dny

Motivace

Tzv. vyhledávací tabulka (Lookup Table) v kameře popisuje závislost hodnoty obrazového bodu na hodnotě signálu z čipu kamery. Ve výchozím stavu je tato závislost lineární (přímá úměra), tedy nulovému signálu připadá nulový bod v obraze, maximálnímu signálu připadá nejvyšší hodnota bodu v obraze (255 pro 8bitovou kameru, viz obrázek 12a)

Úpravou LUT v kameře lze docílit jakékoliv jiné závislosti (viz obrázek 12b), čímž lze nahradit úpravu kontrastu, gammy, jasu apod. na PC, tyto úpravy totiž pracují na stejném principu změny závislosti hodnot bodu výstupního obrazu na vstupním. Obraz je navíc v kameře za pomoci LUT upravován v reálném čase, čehož lze vhodně využít pro odlehčení zátěže procesoru v počítači nebo jiném HW, který provádí následné zpracování zachytávaného obrazu.

Běžně dostupné a využívané SW prostředky (například NI MAX) pro ovládání kamer sice umí LUT modifikovat, ovšem značně neefektivně – lze měnit jen jednotlivé body závislosti, nikoliv celé úseky.



(a) Původní funkce v LUT

(b) Příklad modifikované funkce v LUT pro zvýšení kontrastu v rozsahu 2000 ÷ 3000

Obrázek 12: Příklady funkčních závislostí v LUT

Funkce aplikace

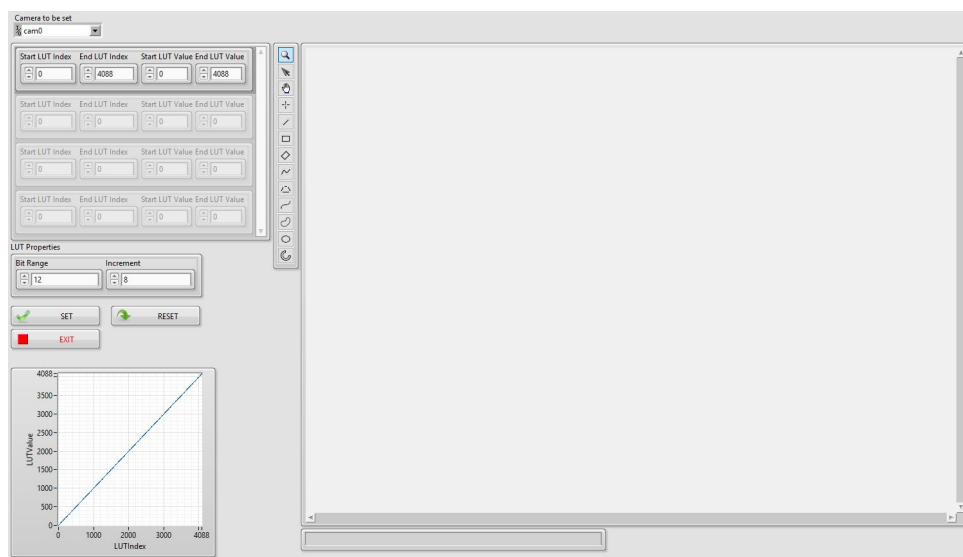
Jelikož s úpravou LUT neměli kolegové žádné dosavadní zkušenosti, zadáním bylo vytvořit jednoduchou aplikaci na úpravu LUT pro potřeby interního laboratorního testování, jehož účelům odpovídá jak zpracování, tak funkce aplikace.

Aplikace vyžaduje ruční zadání kamery, na které má být provedena úprava závislosti LUT, a také bitový rozsah a inkrement LUT. Neexistuje standardizace, každá kamera má totiž odlišnou LUT – liší se jejich rozsah (u většiny kamer bývá 12bitová, modifikují se tedy hodnoty závislosti v rozsahu 0-4095) a inkrement. U většiny kamer totiž nelze modifikovat každou hodnotu z oboru celých čísel (0, 1, 2, 3, ...), ale pouze v určitých intervalech (např. 0, 8, 16, 24, ...), mezi kterými se závislost prokládá lineárně. Bohužel se mi nepodařilo zjistit, kde se informace o dané kameře a její LUT uchovávají, proto je nutno zadat tyto parametry LUT ručně.

V současné verzi aplikace umožňuje úpravu LUT rozložením na více lineárních úseků s různou směrnici. Zadává se počáteční a koncový LUT Index (hodnota na ose x závislosti LUT) a počáteční a koncová LUT Value (hodnota na ose y závislosti LUT). Modifikace LUT se poté provede stisknutím tlačítka, kdy jsou do kamery zapsány jednotlivé diskrétní hodnoty nové závislosti a zároveň je sejmuto a zobrazen snímek, aby měl uživatel okamžitý přehled o tom, jak upravená LUT závislost ovlivní výsledný obraz. K dispozici je také obnovení původní závislosti LUT.

Grafické rozhraní - čelní panel

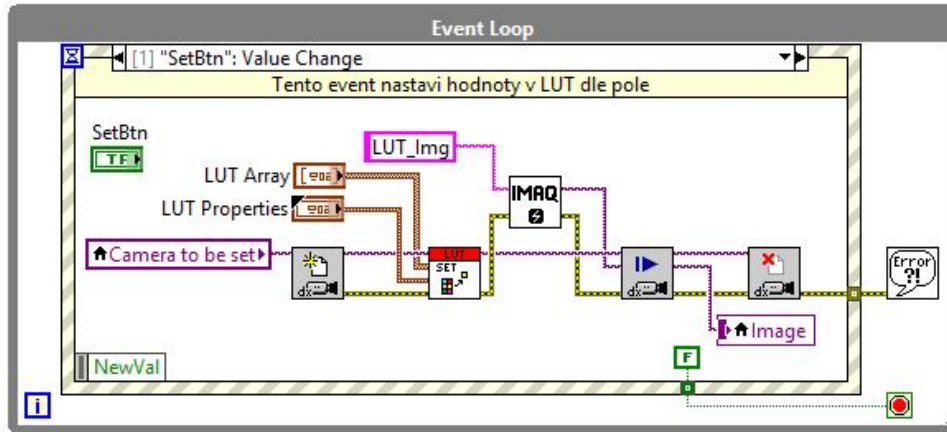
Čelní panel obsahuje pouze nejdůležitější ovládací a zobrazovací prvky. Z indikátorů se jedná o okno pro zobrazení zachyceného snímku a XY graf pro grafické zobrazení zvolené závislosti, z ovládacích prvků potom rolovací nabídka se seznamem dostupných kamer, pole s clusterem numerických hodnot pro nastavení jednotlivých lineárních úseků, cluster pro nastavení rozsahu a inkrementu LUT a tři tlačítka – pro nastavení LUT, uvedení do výchozího stavu a ukončení běhu aplikace. Čelní panel je zobrazen na obrázku 13.



Obrázek 13: Vzhled čelního panelu aplikace LUT

Kód v LabVIEW - blokový diagram

LabVIEW kód obsahuje pouze jedinou smyčku while (obrázek 14), ve které je umístěna struktura pro zachytávání událostí z čelního panelu, obsluhováno je pět různých událostí.



Obrázek 14: Blokový diagram aplikace LUT

1. **Změna hodnot v clusteru parametrů LUT** – Je-li změněn bitový rozsah nebo inkrement LUT, jsou pomocí Property Nodes upraveny i rozsahy a inkrementy ovládacích prvků LUT Index a LUT Value a rozsahy os XY grafu.
2. **Změna hodnoty tlačítka SET** – Po kliknutí je otevřena reference na kameru, následně jsou vyčteny hodnoty z pole s clusterem s koncovými body lineárních úseků. Protože do kamery nelze zapisovat celé intervaly, ale jen diskrétní hodnoty v bodech daných inkrementem a maximálním rozsahem, jsou dopočteny hodnoty mezi zadanými koncovými body a pomocí property node ve smyčce for jsou postupně zapsány do kamery hodnoty konkrétních bodů. Vždy se zapisuje standardizovaný parametr kamery (LUTIndex pro osu x , LUTValue pro osu y) a jeho hodnota ve formátu int64. Následně je využití LUT v kameře povoleno za pomoci parametru LUTEnable s hodnotou TRUE. Poté je sejmut a zobrazen zkušební snímek s již upravenou LUT (obrázek 15a) a nakonec je uzavřena reference na kameru.
3. **Změna hodnoty tlačítka RESET** – Akce po stisknutí tohoto tlačítka je velice podobná tlačítku SET, rozdíl je pouze v hodnotách zapisovaných do LUT, které nejsou získávány z pole na čelním panelu, ale je dopočten jeden dlouhý lineární úsek v rozsahu $0 \div 2^n$, aby byla obnovena původní přímá úměra v LUT. Pro porovnání je k dispozici obrázek 15b
4. **Změna hodnot v poli clusterů LUT Value a LUT Index** – Aby měl uživatel přehled, jak vypadá zvolená závislost graficky, je průběžně při změně LUT Value či LUT Index zobrazována v XY grafu.
5. **Změna hodnoty tlačítka EXIT** – Ukončuje běh smyčky a tím celé aplikace

Možná vylepšení

Případná vylepšení by souvisela se širším využitím aplikace při provádění studií proveditelnosti nebo na některé ze zakázek.

- Programatické získání rozsahu a inkrementu LUT dle typu dané kamery.
- Možnost nastavení závislosti v LUT dle konkrétní matematické funkce nebo z grafického vstupu (podobně, jako v grafických editorech – „přetahování“ funkční závislosti myší do žádané polohy se živým obrazovým náhledem).
- Změna ze samostatně běžící aplikace na subVI – jen stěží by samostatná aplikace pro změnu LUT mohla najít praktické využití, proto by měla být připravena na začlenění do většího programového celku.



(a) Snímek modifikovaný LUT



(b) Původní snímek

Obrázek 15: Příklad modifikace snímku pomocí LUT

2.4.2 Knihovna pro komunikaci s DAP pro automobilové světlometry

Časová náročnost

10 dní

Zadání

Naprogramujte knihovnu VI pro komunikaci s automobilovými světlometry přes diagnostický adaptér. Implementujte zadaný komunikační protokol a jednotlivé instrukce. Není důležité klást důraz na vzhled čelního panelu, dané VI budou využity jako subVI ve větším programovém celku.

Motivace

Moderní automobilové světlometry jsou poměrně složitá elektronická zařízení s řízením a diagnostikou za pomoci vlastního mikrokontroléru (tzv. ECU), schopné komunikace po interní automobilové komunikační sběrnici LIN nebo CAN. V průmyslu při výrobě je potřeba veškeré funkce světlometu ověřit, pohyblivé prvky referencovat do správných poloh, číst případné chyby apod. Protože sběrnice CAN nebývá standardně připojitelná k PC, kde by navíc bylo nutno ošetřit cyklické zasílání zpráv po sběrnici pro správnou funkčnost světlometu, byl právě pro účely testování světlometů ve výrobě vytvořen tzv. DAP (diagnostický adaptér).

DAP funguje jako prostředník v komunikaci mezi PC a ECU světlometu. Mezi PC a DAP probíhá komunikace po sériové lince (RS232), mezi DAP a ECU světlometu probíhá komunikace po sběrnici CAN. DAP zároveň zajišťuje cyklickou komunikaci po CAN/LIN a diagnostiku ECU. DAP obsahuje mimo jiné flash paměť, na kterou se nahrává firmware pro obsluhu konkrétního typu světlometu. [3]

Podklady pro zpracování

Mým úkolem byla SW implementace daného komunikačního protokolu pro komunikaci mezi PC a DAP. Pro tento účel jsem obdržel dokumentaci v podobě textového dokumentu, kde byl popsán obecný komunikační protokol a konkrétní instrukce s významem jednotlivých bajtů a bitů a pozitivní i negativní odpovědi na dané instrukce.

Komunikace je zadána ve formě ASCII znaků, interpretována v podobě hexadecimálních znaků, zasílána ve formě ASCII znaků, formát komunikačního protokolu je následující:

$$\langle \text{STX} \rangle \text{ xx } d_1 \dots d_n \text{ cs } \langle \text{ETX} \rangle$$

- **<STX>** (ASCII 0x02) označuje začátek přenášené instrukce (1 ASCII znak)
- **xx** označuje číslo instrukce (2 ASCII znaky, 00 ÷ 0A)
- **d** označuje datový blok (0 ÷ 31 ASCII znaků, dle konkrétní instrukce)
- **cs** označuje kontrolní součet, který vznikne z posledních dvou znaků součtu všech ASCII znaků v hexadecimálním zápisu od instrukce po konec datového bloku. Např. ASCII 010903 má kontrolní součet 0x30 + 0x31 + 0x30 + 0x39 + 0x30 + 0x33 = 0x12D, kontrolní součet je pak 0x2D (2 ASCII znaky)
- **<ETX>** (ASCII 0x03) označuje konec přenášené instrukce (1 ASCII znak) [3]

Jednotlivé instrukce (datové bloky) mají různý význam, např.:

- čtení typu světlometu
- čtení stavu a firmware DAP
- CAN diagnostika (diagnostika světlometu)
 - čtení čísla, jména, HW a SW světlometu
 - čtení měřených dat (proud, napětí, teplota)
 - čtení a mazání chybové paměti
 - RESET
- ovládání a čtení stavu světlometu

Odpovědi na jednotlivé instrukce se liší dle typu instrukcí. V případě čtení parametrů odpověď obsahuje jejich hodnoty, naopak v případě zápisu se jedná pouze o potvrzení o (ne)úspěšnosti operace. Všechny instrukce mohou skončit chybou, proto jsou definovány i negativní odpovědi s chybovými kódy a jejich významem.

Zpracování

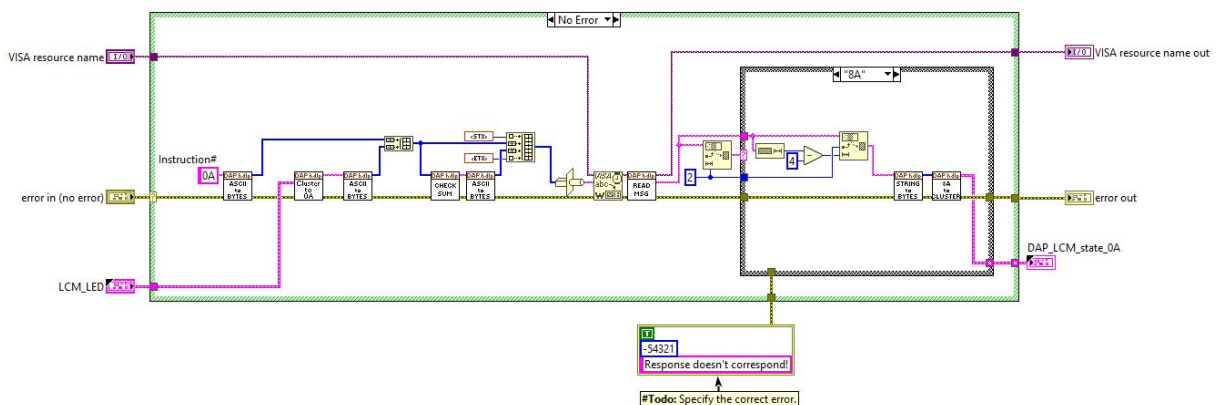
Na začátek jsem dostal k dispozici od kolegů některé subVI (pro převod textového řetězce na bajty, zápis na sériovou linku, pro vyčtení ze sériové linky, převedení bajtů na řetězec a jednu rozpracovanou instrukci). Tyto funkce jsem optimalizoval a poté jsem pokračoval implementací dalších instrukcí a jejich odpovědí. Jelikož se některé části kódu často opakují (např. čtení, zápis na sériovou linku), snažil jsem se o maximální modularitu grafického kódu jeho rozdělením do logických celků – subVI. Samozřejmě byla dokumentace kódu včetně vytvoření jednoduché ikony jednotlivých VI.

Vykonávání každé instrukce probíhá takto (viz obrázek 16)

- Načtení vstupních dat pro danou instrukci ze vstupního Typedef clusteru dané instrukce, který je zároveň připojen na jeden terminál konektorového panelu, aby bylo umožněno přivedení vstupních dat z nadřazeného VI.
- Získání jednotlivých parametrů z datového typu clusteru, jejich případný přepočet a převedení na string.
- Převod ze stringu na pole bajtů.
- Přiřazení čísla instrukce před vstupní cluster a výpočet kontrolního součtu.
- Přiřazení zahajovacího znaku před pole bajtů instrukce, přiřazení kontrolního součtu a ukončovacího znaku za pole bajtů instrukce.

- Převod instrukce zpět na string a zápis na sériový port za pomocí funkcí z palety VISA.
- Vyčtení odpovědi ze sériového portu, odebrání zahajovacího a ukončovacího znaku.
- Získání prvních dvou znaků odpovědi.
- Jedná-li se o kladnou odpověď:
 - Převod stringu na pole bajtů
 - Převod pole bajtů na jednotlivé bity a bajty s informační hodnotou, jejich případný přepočet
 - Přivedení výstupních dat na výstupní Typedef clusteru dané odpovědi, který je také připojen na terminál konektorového panelu.
- Jedná-li se o zápornou odpověď nebo odpověď nesouhlasí:
 - Převod stringů na pole bajtů
 - Převod chybového kódu na konkrétní chybovou hlášku
 - Zařazení chybové hlášky do LabVIEW error clusteru

Pro testování korektního kódování a dekodování instrukcí jsem měl k dispozici 12 V zdroj s DAP a automobilovými světlomety. Díky tomu jsem nejen měl neustálý přehled o správnosti napsaného kódu, ale také jsem odhalil několik chyb v dokumentaci komunikace s DAP a světlomety, které byly příčinou pozdějšího nutného přepracování některých částí kódu. Pro porovnání funkčnosti byla k dispozici již hotová aplikace v textovém jazyce od výrobce DAP.



Obrázek 16: Blokový diagram jedné z mnoha subVI pro komunikaci s DAP

2.4.3 3D demo – laserová triangulace

Časová náročnost

20 dní

Zadání

Pro účely prezentace 3D technologie laserové triangulace vytvořte ukázkovou aplikaci. Využijte krokový motor NI ISM-7402 společně s lineárním šnekovým pojezdem s převodem 2 mm/ot. Proveďte mechanické sestavení dema, nastavení kamery a naprogramujte obslužnou aplikaci v LabVIEW, která bude ovládat motor, snímat obraz z kamery a následně jej zpracovávat a analyzovat.

Úvodní sestavení, testování

Abych mohl začít programovat zadanou aplikaci, musel jsem nejprve provést mechanické sestavení jednotlivých částí pojezdu, tedy motoru, příruby, spojky hřídele z motoru a šnekového hřídele, a samotného lineárního pojezdu. Pojezd jsem namazal, aby nedocházelo k nežádoucímu tření. Následně jsem okolo celého pojezdu sestavil provizorní konstrukci z hliníkových itemů. Ta slouží jednak jako podpora po lineární pojezd, od kterého je odizolována gumovými podložkami, aby nedocházelo k nepříjemným vibracím, jednak jako podpora pro kameru, laser a konektorové terminály pro připojení kamery a karty pro řízení motoru. Stejně tak jsem zhotovil veškerou kabeláž. Protože jsem se dříve s motorem nesetkal, vyzkoušel jsem si jeho chování za pomoci několika zkušebních VI. V závislosti na momentálně dostupném HW jsem postupně vytvořil dvě odlišné verze tohoto dema, které jsou podrobněji popsány níže.

Popis motoru

Krokový motor NI ISM-7402 má celkem 4 vstupy a 1 výstup (respektive vzhledem k užití optočlenů pro galvanické oddělení vstupů od vnitřní elektroniky motoru celkem 10 svorek):

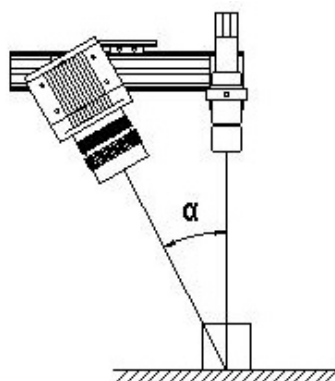
- STEP+/- – slouží pro přivedení generovaných pulzů, kterými se motor roztáčí a ovládá se tak jeho rychlost
- DIR+/- – směr otáčení motoru
- EN+/- – povolovací vstup, v logické "1" motor nereaguje na ostatní vstupy, v logické "0" je jeho pohyb povolen
- OUT+/- – digitální výstup
- V +/- – napájení

Řídící vstupy lze napájet napětím v rozsahu $5 \div 24$ V, napájecí vstup v rozsahu $24 \div 60$ V. Charakteristiky motoru lze měnit DIP přepínači, kterými lze konfigurovat filtraci vstupu STEP, vyhlazování průběhu otáček motoru, klidový a zátěžový proud a mikrokrokování – počet pulzů na otáčku v rozsahu $200 \div 25000$.

K motoru je dále připojen optický enkodér, jehož výstupem je 3000 pulzů na otáčku, má standardní výstupy (A+, A-, B+, B-, Z+, Z-, +5 V a GND). [4]

Stručný popis principu laserové triangulace

Laserová triangulace je jedna z možností, jak získávat trojrozměrný obraz objektů. Ke své funkci potřebuje 3D kameru, čárový laser a pojezd, na kterém je umístěna kamera nebo snímáný objekt. Prostorové uspořádání úlohy je naznačeno na obrázku 17. Laser svítí kolmo na snímáný objekt, kamera jej sleduje po úhlem α (typickou hodnotou je přibližně 30°), díky čemuž se stopa laseru deformuje podle tvaru povrchu. Kamera obsahuje plošný snímač, aby mohla spolehlivě zachytit stopu laseru. Když je kamera s laserem, případně snímáný objekt, v pohybu, laserová stopa na povrchu objektu se mění. Kamera tuto stopu v obraze za pomoci algoritmu implementovaného na FPGA vyhledává a zpracovává na 3D obraz povrchu objektu. Výstupem z kamery jsou tři signály - klasický černobílý 2D obraz, obraz popisující tloušťku laserové čáry v průběhu snímání a 3D obraz, kde hodnoty jednotlivých obrazových bodů popisují jejich výšku v prostoru. Tato metoda je přesnější, než jiné 3D technologie (založené například na době letu fotonů), ale vyžaduje pohyb snímaného objektu v zorném poli. Z výše uvedeného vyplývá, že tato metoda 3D snímání je vhodná například pro kontrolu výškově nepříliš různorodých objektů na výrobní lince.



Obrázek 17: Prostorové uspořádání laserové triangulace.

Zdroj: web Automation Technology – <http://www.automationtechnology.de/>

2.4.3.1 Verze 1

Užitý HW

- Krokový motor NI ISM-7402
- Chassis NI cDAQ-9171 (připojení USB 2.0, jeden slot) [5]
- Karta s digitálními výstupy NI-9472 (24 V, 8 kanálů) [6]
- 3D kamera Automation Technology C5-2040-GigE
- Objektiv Computar 16 mm
- filtr BP-620 (propouští světlu v pásmu okolo 620 nm)
- čárový laser 20 mW, 657 nm

Popis verze

V této verzi běží LabVIEW aplikace na PC, ke kterému je přes USB připojený cDAQ systém s modulem s digitálními výstupy. Na ten je přivedeno nutné externí napájení 24 V DC, využity jsou tři výstupy pro vstupy motoru (STEP, DIR, EN). Od motoru není vedena žádná zpětná vazba ani pro řízení, ani pro triggerování kamery. Ani jedno po konzultaci nebylo shledáno nutným, motor totiž pojíždí konstantní rychlostí, frekvence triggerování je tak v čase konstantní. K PC je připojena za pomoci Ethernetu i kamera. Laser je užití externí, bez triggerování, stále svítící. Napájení kamery, motoru, laseru i modulu s digitálními výstupy je zajištěno jedním 24V zdrojem.

Problémem této sestavy bylo užití cDAQ systému, který nemá dostatečné možnosti pro časování, aby bylo možno generovat dostatečný počet pulzů. Rychlost pojezdu byla stanovena minimálně na 6 mm/s, což při nejnižší konstantě krokování určuje minimální frekvenci pulzů na 600 Hz. Při využití softwarového časování a průběžného generování pulzů z operačního systému Windows je k dispozici nejmenší rozlišení 1 ms, pro generování jednoho pulzu je potřeba dvou iterací, lze tedy docílit maximální frekvence generování pulzů 500 Hz, ale toto časování je značně nevhodné kvůli nedeterminističnosti Windows, ve výsledku by tak pulzy mohly být generovány s jakoukoliv jinou, pomalejší frekvencí. Druhou možností časování je využití možnosti karty přivést na její výstup čítač, který má podstatně vyšší a přesnou frekvenci signálů. Zde ovšem nastává jiný problém – pro rozjezd motoru je potřeba vygenerovat rampu pulzů s rostoucí frekvencí, jinak se při rychlé změně frekvence pulzů motor neroztočí, ale pouze začne vibrovat. Jediným způsobem, jak změnit frekvenci výstupu čítače je ovšem čítání zastavit, překonfigurovat jeho frekvenci a znovu čítání zahájit, to vše v režii Windows. Tímto procesem vzniká časový úsek, kdy nejsou generovány pulzy, během kterého se motor zastaví a tak při započetí generování pulzů o vyšší frekvenci opět dochází pouze k rozvibrování motoru.

Čelní panel

Ovládací prvky čelního panelu zahrnují tlačítka pro spuštění pojezdu, jeho nouzové zastavení, zastavení běhu aplikace a analýzu obrazu, dále dva posuvníky pro ovládání záměrného kříže v 3D obrazu. Indikační prvky zahrnují dvě diody pro indikaci snímání obrazu a běhu motoru, tři okna pro zobrazování obrazu z kamery (2D, 3D neupravený a 3D analyzovaný) a graf pro zobrazení hodnot obrazových bodů z jednoho řádku 3D profilu, tedy výškový profil objektu.

Stručný popis blokového diagramu a funkce programu

Pro program jsem zvolil architekturu s třemi paralelně běžícími smyčkami, kdy jedna obsluhuje události z čelního panelu, druhá ovládá motor a třetí se stará o zachytávání a analýzu obrazu z 3D kamery, mezi sebou komunikují za pomoci funkcí z palety Notifier Operations. [1], [7]

Na počátku je provedena inicializace aplikace, jsou nastaveny výchozí hodnoty ovládacích a indikačních prvků, jsou otevřeny reference na jednotlivé digitální výstupy za pomoci knihovny DAQmx. Po stisknutí tlačítka pro sejmutí 3D obrazu je zaslána smyčkám pro ovládání motoru a kamery zpráva. Smyčka pro ovládání motoru nastaví indikační prvky příslušící motoru a na povolovací výstup se zapíše logická "0" a na výstup směru logická "1". Následně je na výstup STEP

přiveden čítač a je spuštěn DAQmx Task, čímž se motor dává do pohybu. Poté je periodicky kontrolován stav DAQmx Task a hodnota tlačítka pro zastavení běhu motoru. Jakmile je Task u konce, změní se logická úroveň na výstupu DIR a Task je znovu zahájen, motor se rozbíhá na opačnou stranu. Na konci poježdění jsou opět přenastaveny indikační prvky. Smyčka pro ovládní kamery po stisknutí tlačítka start obdobně přenastaví indikační prvky, otevře referenci na kameru, sejme obraz a zobrazí jej, následně také opět přenastaví indikační prvky. Veškerá konfigurace kamery (počet řádků 3D snímku, doba expozice atp.) je provedena externě, z aplikace určené přímo pro obsluhu kamery, při snímání nejsou její parametry nijak modifikovány. Při změně hodnot posuvníků smyčka pro obsluhu kamery vykreslí přes 3D obraz záměrný kříž, do grafu je přiveden výškový profil odpovídající vybranému řádku. Analýzu obrazu jsem z časově-organizačních důvodů neprogramoval.

2.4.3.2 Verze 2

Užitý HW

- Krokový motor NI ISM-7402
- RT kontrolér NI cRIO-9030 (procesor 2x1,33 GHz, 1 GB operační paměť, 4 GB flash paměť, 4 sloty, operační systém na bázi 64bitového RT Linux) [8]
- Motion Module NI-9512 (zásuvná karta pro ovládání jednoho krokového motoru, pro zapojení jednoho enkodéru s několika doplňkovými digitálními vstupy a výstupy) [9]
- 3D kompaktní senzor Automation Technology C5-2040CS

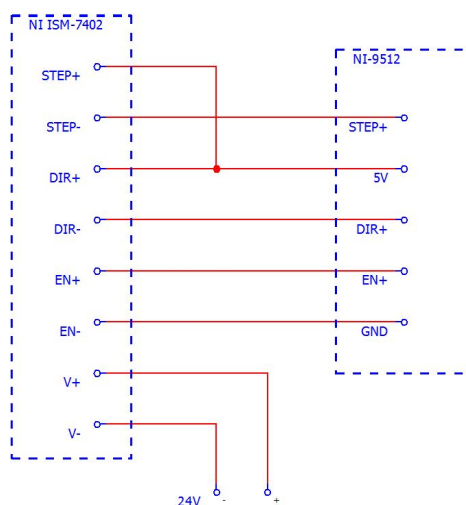
Popis verze

V této verzi běží LabVIEW aplikace na RT kontroléru cRIO-9030, který se stará o ovládání motoru skrze Motion Module, o snímání a analýzu obrazu z kamery. Z Motion Module, speciálně určeného pro ovládání krokových motorů, jsou skrz kabel a konektorový terminál přivedeny signály na vstup motoru. Motion Module opět vyžaduje externí napájení 24 V DC. Zpětná vazba z enkodéru není přivedena do Motion Module, nýbrž je napojena přímo na kameru, její triggerování tak probíhá pohybem pojezdu bez zásahu kontroléru. Senzor je připojen opět za pomoci Ethernetu ke kontroléru. Vzhledem k tomu, že se jedná o novější generaci kontroléru, která podporuje integrované uživatelské rozhraní (tzv. Embedded UI), přes Mini DisplayPort je ke kontroléru připojen monitor, přes USB standardní klávesnice a myš, takže je možné obsluhovat celou aplikaci bez užití jakéhokoliv dalšího HW. Napájení senzoru, Motion Module, motoru i kontroléru je zajištěno z jednoho 24V zdroje. Finální podoba je zobrazena na obrázku 18, zapojení je znázorněno na obrázku 19.

Jelikož jsem se dříve s Motion Module dříve nesetkal, vyzkoušel jsem si jeho funkčnost za pomoci několika zkušebních VI. Motion Module je ovládán skrze funkce z knihovny LabVIEW SoftMotion. Společně s touto knihovnou je přibaleno několik příkladů, které jsem si prošel, abych lépe pochopil, jak SoftMotion funguje. Jelikož jsou součástí knihovny i funkce Express



Obrázek 18: Finální HW řešení demonstrační aplikace 3D laserové triangulace

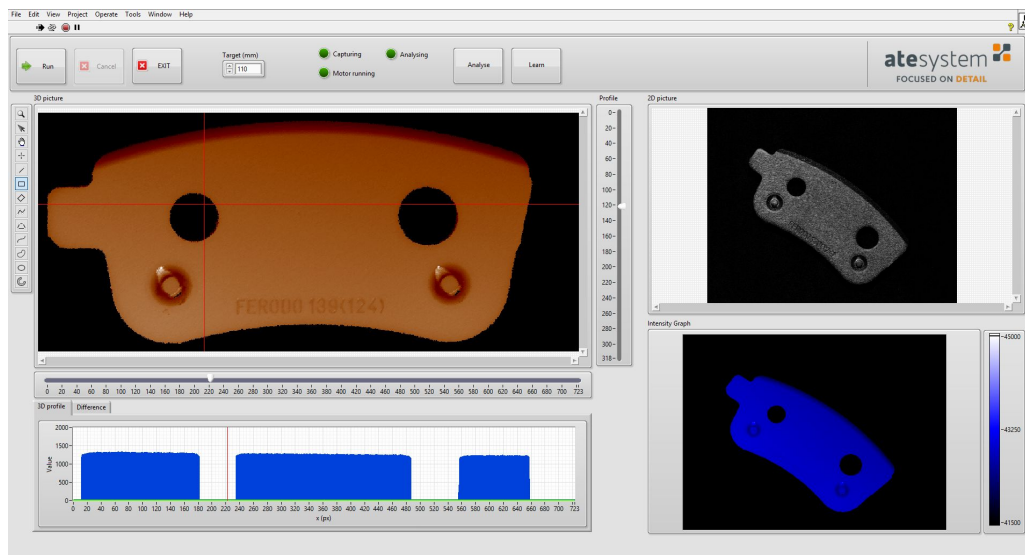


Obrázek 19: Zapojení krokového motoru

VI, sloužící právě pro potřeby rychlého testování či pochopení funkčnosti, vyzkoušel jsem také tyto. V samotném kódu jsem je ovšem nevyužil, jejich funkčnost jsem nahradil běžnými funkcemi a VI. Během testování jsem také narazil na jednu ze známých chyb LabVIEW SoftMotion 2016. [10]. Vyšší úroveň řízení by bylo vytvoření VI pro řízení motoru běžících na FPGA, jehož využití by ale pro tuto aplikaci nebylo opodstatněné, nejedná se o totiž náročnou, časově kritickou aplikaci.

Čelní panel

Ovládací prvky čelního panelu doznaly minimálních změn. Přibyl numerický ovládací prvek pro zadání vzdálenosti, kterou má motor tam a zpět pod senzorem projet, tlačítko pro naučení vzorového řezu a graf pro zobrazení rozdílu výšek právě snímaného objektu a vzorového řezu. Jedno z oken pro zobrazení snímku bylo nahrazeno grafem intenzit, viz obrázek 20.



Obrázek 20: Čelní panel 3D aplikace

Stručný popis blokového diagramu a funkce programu

Základní architektura programu zůstala stejná, nicméně jsem dílčí části kódu upravil, aby byl kód racionalizován. Blokový diagram je zobrazen na obrázku 21.

Komunikace mezi smyčkami jsem nyní vyřešil za pomoci funkcí z palety Queue Operations, aby nedocházelo ke ztrátám jednotlivých zpráv. Jednotlivé smyčky nyní fungují částečně jako stavové automaty, kdy za pomoci zpráv v Queue přechází z jednoho stavu do druhého. Smyčky pro obsluhu kamery a motoru jsou nyní řešeny jako subVI, pro přístup k čelnímu panelu jsem napsal knihovnu, která jej obsluhuje za pomoci referencí k jednotlivým prvkům. Ovládání motoru není řešeno za pomoci DAQmx Task, ale voláním funkcí z palety NI SoftMotion pro ovládání Motion Module. Vstupem těchto funkcí je požadované zrychlení, rychlost a pozice. Nastínil jsem také možnosti nakládání s chybovými stavy. Chyby všech smyček jsou obsluhovány centrálně jednou smyčkou, momentálně pouze formou zobrazení uživateli, bez logování, protože z principu aplikace není očekáváno velké množství chybových stavů a nutnost jejich ošetřování.

Možná vylepšení

Pro další prezentace této 3D technologie by mohla být aplikace obohacena o několik dalších vylepšení. Nyní probíhá z důvodu bezpečnosti průjezd motoru pod kamerou pouze pod dohledem vyškoleného pracovníka, nicméně po doplnění hardwarových tlačítek, koncových snímačů, zavedením zpětné vazby od enkodéru i do kontroléru a umístěním do ochranné konstrukce (např. za plexisklo) by mohla být operace celého dema autonomní, snímání objektu by mohlo probíhat automaticky v daných časových intervalech, případně po stisknutí hardwarového tlačítka. Motion Module má digitální vstupy, softwarově jsem aplikaci na tlačítka a opakovaný průjezd v daných intervalech již také předpřipravil, takže implementace by byla velmi rychlá. Další možností by mohlo být doplnění o učení se nových vzorů pro Pattern Matching. 3D kameře by tak mohly být předkládány různé objekty, na každém by mohly být vyhodnoceny jiné parametry. Zde by mohlo být problémem nastavení kamery – aby podávala co nejlepší a nejpresnější výsledky, je potřeba kameru poměrně zdlouhavě nastavit pro každý druh objektu dle jeho povrchu. Stejně tak přeškálování z 16bitového na 8bitový obraz předpokládá umístění objektu v určitém výškovém rozsahu, musel bych proto vyvinout vlastní knihovnu pro manipulaci obrazu (zejména Pattern Matching) pro 16bitový obraz.

3 Teoretické a praktické znalosti a dovednosti získané v průběhu studia uplatněné studentem v průběhu odborné praxe

Během své praxe jsem nejvíce uplatnil znalosti z předmětu Virtuální instrumentace 1 a 2 ([7], [12]), tedy zejména nabyté znalosti o programování v programovacím prostředí a jazyce LabVIEW, obohacené o zkušenosti ze zahraniční pracovní stáže u firmy National Instruments v Budapešti, kterou jsem absolvoval během léta 2016. Nicméně jsem využíval průřez znalostí z celého studia na vysoké škole, například o měření elektrických veličin a jeho zpracování a přesnosti, znalosti z oblasti elektrických pohonů (krokových motorů), senzorů, programovacích technik a v neposlední řadě z oblasti optiky.

4 Znalosti či dovednosti scházející studentovi v průběhu odborné praxe

Nejvíce mi scházely znalosti z oblasti strojového vidění, při práci s kamerami jsem se mohl opírat pouze o teoretické znalosti z Fyziky III – Optiky, základy práce ve VBAI z předmětu Senzory a měření a o své vlastní znalosti z oblasti fotografie. Způsoby práce s kamerovými systémy, jejich ovládání a návrh/výběr komponent jsem nabyl až v průběhu samotné bakalářské praxe za pomoci kolegů a školení (viz níže). Scházely mi také praktické dovednosti z oblasti vypracovávání projektů, které by mi umožnily lepší uchopení zadaných úloh a rozdělení práce.

4.1 Školení – Základy strojového vidění

V polovině prosince jsem měl možnost přidat se ke tří dennímu školení s názvem „**Základy strojového vidění**“, které zajišťovali pracovníci firmy ATEsystem, s.r.o. pro jednoho ze svých zákazníků. Náplň tohoto školení je rozdělena do dvou částí – vždy dopoledne probíhá teoretická část ve formě přednášek, kde jsou popsána a vysvětlena všechna důležitá odvětví strojového vidění. Začíná se obecným popisem strojového vidění a jeho významu, dále jsou vysvětleny kamery a jejich teorie a technologie (typy čipů, rozdíly mezi jednotlivými typy včetně výhod a nevýhod), pokračuje se objektivy, filtry a osvětlovači. Odpolední část je spíše prakticky zaměřena, spočívá v realizaci zachytávání obrazu z kamer, které jsou k dispozici a v následné úpravě obrazu v SW firmy National Instruments s názvem „Vision Builder for Automated Inspections“. Tento software umožňuje vytvořit tzv. inspekce, což jsou jakési sekvence kroků úpravy obrazu a jeho následného vyhodnocení.

Během tohoto kurzu jsem si doplnil své předchozí teoretické znalosti o strojovém vidění, kamerách a objektivách, stejně jako praktické znalosti při zachytávání obrazu a jeho následném zpracování ve Vision Builder.

5 Dosažené výsledky v průběhu odborné praxe

Během bakalářské praxe jsem získal komplexní základ pro práci se systémy pro strojové vidění. Získal jsem důležité zkušenosti z oblasti kamer – pochopil jsem význam jednotlivých parametrů kamer, principy komunikace, nastavování volitelných parametrů, význam parametrů objektivů, důležitost volby správného osvětlení, optické jevy a vlastnosti využívané v kamerových systémech (odrazy, odlesky, polarizace, IR, UV). Nahlédl jsem do oblasti zdrojů pro svítidla, HW pro zachytávání a zpracování obrazu (průmyslové PC), programoval jsem SW pro zachytávání a zpracování obrazu a měl jsem možnost vytvořit prakticky kompletní projekt pro ukázkovou aplikaci laserové triangulace. Taktéž jsem se setkal s pomocným HW a SW pro strojové vidění (DAP). Pomyslnou třešničkou na dortu bylo získání praktických pracovních zkušeností - práce na projektech, spolupráce s kolegy, komunikace se zákazníkem atp.

Výstupem mé práce ve společnosti ATEsystem, s.r.o. je návrh či ověření několika kamerových sestav pro různé aplikace strojového vidění, dále SW pro komunikaci s DAP, modifikaci LUT v kameře a celkové HW a SW řešení předváděcí aplikace laserové triangulace.

Literatura

- [1] BRESS, Thomas J. *Effective LabVIEW Programming*. NTS Press. ISBN 978-1-934891-08-7.
- [2] *Datový list č. PPZPLSXXXXD00010*. Materiál společnosti ATEsystem, s.r.o.
- [3] *Diagnostic adapter DAP with application firmware: version 1.1*. Materiál společnosti EHL elektronika s.r.o.
- [4] *User Manual NI ISM-7401/7402*. [online]. [cit. 2017-03-30].
Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/374175a.pdf>
- [5] *Device Specifications NI cDAQ-9171*. [online]. [cit. 2017-03-30].
Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/374037b.pdf>
- [6] *Datasheet NI 9472*. [online]. [cit. 2017-03-30].
Dostupné z: http://www.ni.com/pdf/manuals/373509b_02.pdf
- [7] BILÍK, Petr. *Virtuální instrumentace 2*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012.
- [8] *Specifications NI cRIO-9030*. [online]. [cit. 2017-03-30].
Dostupné z: http://www.ni.com/pdf/manuals/376260a_02.pdf
- [9] *Operating Instructions and Specifications NI 9512*. [online]. [cit. 2017-03-30].
Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/374555g.pdf>
- [10] LabVIEW 2016 SoftMotion Module Known Issues. *National Instruments* [online].
[cit. 2017-03-05]. Dostupné z:
http://www.ni.com/product-documentation/53117/en/#602055_by_Category
- [11] KWON, Kye-Si a Steven READY. *Practical guide to machine vision software: an introduction with LabVIEW*. Weinheim: Wiley-VCH, 2015. ISBN 978-3-527-33756-9.
- [12] WITTASSEK, Tomáš. *Virtuální instrumentace I*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012.

Přílohy

A Označování kamer Basler

Německý výrobce kamer Basler označuje všechny své kamery jednotně ve formátu:

ttvwww-xyz

- **tt** znamená výrobní řadu kamery. Nejčastěji se jedná o:
 - ac – výrobní řada ace
 - da – výrobní řada dart
- **v** popisuje dimenzi snímáče
 - A – area, plošný snímáč
 - L – line, řádkový snímáč
- **www** znamená přibližné rozlišení snímáče kamery v horizontálním směru. Kamera s označením 2500 tak má rozlišení snímáče 2590 x 2048 bodů.
- **xx** znamená maximální dosažitelnou snímkovou frekvenci. Skutečně dosažená může být nižší (vlivem nízké rychlosti komunikační sběrnice nebo příliš dlouhou dobou expozice), ale nikdy ne vyšší, HW kamery na ni není uzpůsoben.
- **y** znamená užitou komunikační sběrnici.
 - g – GigE Vision
 - k – Camera Link
 - u – USB 3 Vision
- **z** znamená barevné spektrum snímáče
 - c – barevný snímáč
 - m – monochromatický
- Název může být opčně doplněn např. o zkratku NIR, která označuje citlivost snímáče kamery i v oblasti blízkého infračerveného světla.

B Nejpoužívanější výpočty

Abych se vyhnul v některých případech časově neefektivní práci typu pokus omyl, používal jsem v průběhu praxe několik jednoduchých výpočtů.

- **Ohnisková vzdálenost** – V případě, že je při úloze dána vzdálenost mezi kamerou a zkoumaným objektem, lze pomocí tohoto vzorce jednoduše dopočítat ohniskovou vzdálenost objektivu pro konkrétní velikost čipu kamery.

$$f = \frac{l \cdot d}{l'} \quad (1)$$

kde f je hledaná ohnisková vzdálenost, l je rozměr objektu v jednom směru (šířka či výška), l' je rozměr snímáče v jednom směru a d je vzdálenost objektivu od objektu. Typicky jsou všechny veličiny udány v milimetrech. Jednoduchou úpravou lze vzorec užít i v případě, že neznámá je jiná z výše udaných veličin (nejčastěji vzdálenost kamery od objektu).

- **Přesnost kamery** – Pro potřeby vizuální inspekce je nutné znát přesnost kamery, tedy jaká vzdálenost v reálných jednotkách odpovídá jednomu pixelu kamery.

$$\Delta = \frac{h}{n} \quad (2)$$

kde h je rozměr zorného pole v jednom směru (šířka či výška) v milimetrech, n je počet pixelů snímáče v jednom směru. Tento výpočet lze užít pouze pro objekty umístěné kolmo k optické ose objektivu a v konstantní vzdálenosti od objektivu. Výsledek má jednotku mm/px , představuje pro danou sestavu konstantu, pomocí které lze jednoduše naměřené hodnoty v pixelech převést do jednotek reálného světa.